

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:  
DESARROLLO DE UN TRANSDUCTOR PARA LA MEDICIÓN DE  
CAUDAL EN UN AFORADOR TIPO PARSHALL EN LA ACEQUIA  
PUMAMAQUI DE LA CUENCA DEL RÍO PISQUE.**

**AUTORES:  
PABLO DAVID MALDONADO FERRÍN  
DIEGO JAVIER ROMÁN ALDÁS**

**TUTORA:  
LUISA FERNANDA SOTOMAYOR REINOSO**

**Quito, junio del 2018**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORES**

Nosotros Pablo David Maldonado Ferrín con documento de identificación N° 172184859-4 y Diego Javier Román Aldás con documento de identificación N° 100385942-6, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “DESARROLLO DE UN TRANSDUCTOR PARA LA MEDICIÓN DE CAUDAL EN UN AFORADOR TIPO PARSHALL EN LA ACEQUIA PUMAMAQUI DE LA CUENCA DEL RÍO PISQUE”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

---

Pablo David Maldonado Ferrín  
172184859-4

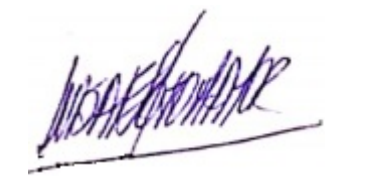
---

Diego Javier Román Aldás  
100385942-6

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el “PROYECTO TÉCNICO, DESARROLLO DE UN TRANSDUCTOR PARA LA MEDICIÓN DE CAUDAL EN UN AFORADOR TIPO PARSHALL EN LA ACEQUIA PUMAMAQUI DE LA CUENCA DEL RÍO PISQUE” realizado por Pablo David Maldonado Ferrín y Diego Javier Román Aldás, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser consideradas como trabajo final de titulación.

Quito, junio de 2018



Luisa Fernanda Sotomayor Reinoso

1710953967

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto de titulación a los jóvenes que por limitaciones de toda índole creen que no lograran culminar su carrera universitaria. Pues no existen imposibles cuando confías en Dios y te esfuerzas día a día, sin importar que existan momentos de desierto y oscuridad, nuestra fe en Dios es la que nos levanta e impulsa a continuar con nuestro desarrollo como profesionales, en una sociedad que más que ingenieros necesita de personas honestas, responsables, disciplinadas y con el carácter para tomar decisiones que impulsen a nuestro país a mejores días. Amigos, compañeros de universidad, les dedico este proyecto de titulación, nunca se rindan.

*Pablo David Maldonado Ferrín*

Dedico este proyecto a Dios por haberme dado salud, vida y por acompañarme siempre, también quiero agradecer a mi madre Elisa por ser el pilar principal en mi vida, por todo el cariño incondicional que me ha brindado y por creer siempre en mí.

*Diego Javier Román Aldás*



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a la persona más importante en mi vida, por quien vivo y a quien sirvo, a Jesús, amigo fiel, consejero, admirable, Dios fuerte, Príncipe de paz, pues gracias a él estoy culminando esta etapa de mi vida profesional, en segundo lugar agradezco a mis padres Guido y María, quienes han sido mi apoyo incondicional en los momentos difíciles, animándome, levantándome y en ocasiones empujándome en toda esta hermosa carrera estudiantil pues son un pilar importante en mi vida, agradezco a mi hermano Francisco que me mostró su amor por medio de hechos reales, escuchándome y animándome a seguir, pues la edad no dice cuanta madurez uno puede acumular, agradezco a la mujer más hermosa, amiga y compañera de batallas, mi novia y futura esposa Belén, pues me acompañó en la gran mayoría de mis años dentro de la Universidad, con victorias y derrotas, confiando siempre en Dios y comprendiendo que nada se sale de su control.

*Pablo David Maldonado Ferrín*

Agradezco a Dios por todas las bendiciones que me ha dado, agradezco a mis padres Elisa y Bolívar quienes han sido un pilar fundamental en mi vida, por las enseñanzas y valores que me inculcaron, por el esfuerzo que realizaron, entregándose voluntariamente al sacrificio para buscar la manera de apoyarme, por darme la oportunidad de tener una excelente educación y por el ejemplo de vida que representan. Quiero agradecer a mis maestros, en especial a la Ing. Luisa Sotomayor por dedicarnos su tiempo y guiarnos en nuestro proyecto de titulación de igual manera agradezco al Ing. Jorge Sandoval por el tiempo que nos dedicó y por todo lo que nos enseñó en el transcurso del proyecto de titulación.

*Diego Javier Román Aldás*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORES.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	ii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	iii
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv
CAPÍTULO 1.....	1
1.1 Planteamiento del Problema .....	1
1.2 Justificación .....	1
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1. Objetivo General.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos.....	2
1.4 Beneficiarios del proyecto .....	2
CAPÍTULO 2.....	3
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	3
2.1 Canal de Riego Cayambe.....	3
2.2 Historia.....	3
2.2.1. Acequia Pumamaqui.....	4
2.3 Medición de caudal.....	4

2.3.1. Áreas de medición.....	4
2.3.2. Tipos de fluido .....	4
2.3.3. Clasificación de los medidores .....	5
2.3.3.1 Medidores de caudal .....	5
2.3.3.2 Medidores de volumen.....	5
2.4 Medición de caudal en canal abierto o vertederos .....	5
2.4.1. Canal .....	5
2.4.2. Método volumétrico.....	6
2.4.3. Vertederos .....	7
2.4.4. Canal Parshall .....	8
2.4.4.1 Partes del canal Parshall.....	9
2.4.5. Sensor de caudal ultrasónico.....	11
2.4.5.1 Sensor ultrasónico industrial MB7369.....	12
2.5 Industruino .....	14
2.6 Características generales.....	14
CAPÍTULO 3.....	16
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL TRANSDUCTOR ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DE CAUDAL.....	16
3.1 Diseño del proceso.....	16
3.2 Construcción de canal Parshall .....	17
3.2.1. Cálculo para la medición de caudal .....	19

3.3 Ubicación del Sensor ultrasónico en el canal Parshall.....	21
3.3.1. Diseño de la posición del sensor .....	21
3.4 Acondicionamiento de señal electrónica. ....	22
3.4.1. Alimentación.....	22
3.4.2. Energía diaria consumida.....	23
3.4.3. Dimensionamiento de la Batería.....	25
3.4.4. Dimensionamiento del panel solar y regulador de carga. ....	26
3.4.5. Lectura de datos .....	26
3.4.6. Almacenamiento .....	26
3.4.7. Diseño y desarrollo del hardware .....	27
3.4.8. Conexión general del Industruino con sensor ultrasónico y módulo MicroSD.....	27
3.4.9. Conexión del Industruino con el sensor ultrasónico .....	28
3.4.10. Conexión del módulo MicroSD .....	29
3.5 Diagrama de conexión en tablero de control .....	30
3.6 Programación en Industruino.....	30
3.6.1. Diagrama de flujo .....	31
3.6.2. Programación .....	32
3.6.2.1 Control de errores cuando se desconecta la memoria.....	33
3.6.2.2 Presentación de datos.....	33
3.6.2.3 Guardar los datos en la MicroSD.....	34

3.7 Implementación.....	34
3.7.1. Construcción del Canal Parshall .....	34
3.7.2. Implementación de la estación.....	35
CAPÍTULO 4.....	36
4.1 Pruebas del nivel de descarga de la batería.....	37
4.2 Pruebas del nivel de carga de la batería. ....	37
4.3 Medidas exactas del canal Parshall implementado .....	38
4.4 Calibración del sensor.....	38
4.5 Método de flotador para comparar los valores obtenidos con el sensor .....	39
4.5.1. Método de Caudalímetro Global Water FP111 .....	41
4.5.2. Transductor electrónico .....	43
4.5.3. Cálculo de errores .....	45
CONCLUSIONES .....	47
REFERENCIAS.....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Canal abierto y canal cerrado (Rodriguez Ruiz) .....	6
Figura 2.2: Partes de un vertedero (Lux Monroy, 2010) .....	8
Figura 2.3: Canal Parshall de concreto reforzado (Lux Monroy, 2010).....	8
Figura 3.1: Diagrama de funcionamiento del transductor electrónico.....	16
Figura 3.2: Dimensiones del canal Parshall (Olivares, 2016).....	18
Figura 3.3: Características del haz aproximadas de sensor ultrasónico MB7369 tipo D (MaxBotix, 2012).....	21
Figura 3.4: Ubicación del sensor electrónico.....	22
Figura 3.5: Diagrama de alimentación para transductor electrónico.....	23
Figura 3.6: Diagrama de bloques de hardware.....	27
Figura 3.7: Conexión general de Industruino con módulo MicroSD y sensor ultrasónico.....	28
Figura 3.8: Conexión del sensor ultrasónico con el Industruino.....	29
Figura 3.9: Conexión de Industruino con módulo MicroSD.....	30
Figura 3.10: Diagrama de control.....	30
Figura 3.11: Condiciones para el funcionamiento de lectura y almacenamiento de datos en Industruino.....	32
Figura 3.12: Control de errores cuando se desconecta la memoria MicroSD.....	33
Figura 3.13: Presentación de datos en pantalla LCD.....	34
Figura 3.14: Almacenamiento de datos en tarjeta MicroSD.....	34
Figura 3.16: Vista frontal y trasera de la estación.....	36
Figura 4.1: Método de flotador.....	39

Figura 4.2: Medidor de velocidad (Molinete).....	42
Figura 4.3: Valor medido por el transductor electrónico.....	44

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Parroquias que componen el proyecto de la cuenca del Río Pisque.....	3
Tabla 2.2: Condiciones para construcción del canal Parshall.....	9
Tabla 2.3: Características generales (MaxBotix, 2012).....	13
Tabla 2.4: Conexión de cada pin (MaxBotix, 2012).....	13
Tabla 3.1: Tabla estandarizada para el caudal y ancho de la garganta (Olivares, 2016).....	17
Tabla 3.2: Dimensiones del canal Parshall.....	18
Tabla 3.3: Relación entre la Longitud del aforador, la Sumersión transitoria y los coeficientes y exponentes para el cálculo de la descarga en condiciones de flujo libre y sumergido.....	20
Tabla 3.4: Consumo de energía de cada componente de cada estación.....	24
Tabla 4.1: Valores de descarga de la batería.....	37
Tabla 4.2: Valores de carga de la batería.....	38
Tabla 4.3: Medidas exactas del canal Parshall implementado.....	38
Tabla 4.4: Medidas de la garganta.....	38
Tabla 4.5: Tiempos tomados del objeto flotando del punto A al punto B.....	40
Tabla 4.6: Medidas de la altura del aforador en tres secciones distintas.....	41
Tabla 4.7: Valor promedio de la altura en tres secciones diferentes del aforador.....	43
Tabla 4.8: Valor promedio de la velocidad en tres secciones diferentes del aforador.....	43
Tabla 4.9: Valores obtenidos por el aforador con fecha 17 de abril, 2018.....	44
Tabla 4.10: Valores de caudal en metros cúbicos por tres métodos distintos.....	45



## **RESUMEN**

En el cantón Cayambe, en la cuenca del río Pisque, se encuentra la acequia Pumamaqui que distribuye el agua para los distintos sectores ganaderos y agrícolas donde se tiene la necesidad de medir el caudal instantáneo, por esta razón se construye un transductor electrónico tomando en cuenta todas las variables necesarias para la construcción.

Las variables analizadas son: temperatura, humedad, velocidad del agua, altura del espejo de agua, que son procesadas en una tarjeta Industruino mediante un sensor ultrasónico industrial, obteniendo un promedio en litros por segundo para el cálculo del caudal y visualizados en una pantalla LCD (Liquid Cristal Display) del Industruino. Los datos son guardados en una memoria microSD para su posterior extracción por parte del observador. El sistema utiliza paneles solares y una batería de 12 voltios para su alimentación y garantizar un funcionamiento prolongado.

Al estar instalado el transductor electrónico se realizan las pruebas necesarias para la comprobación del funcionamiento mostrando resultados satisfactorios y son comparados y verificados con métodos tradicionales.

## **ABSTRACT**

In the canton Cayambe, in the basin of the Pisque river, there is the Pumamaqui irrigation ditch that distributes the water for the different livestock and agricultural sectors where it is necessary to measure the instantaneous flow, for this reason an electronic transducer is built considering all the necessary variables for the construction.

The analyzed variables are: temperature, humidity, water speed, height of the water mirror, which are processed in an Industruino card by means of an industrial ultrasonic sensor, obtaining an average in liters per second for the calculation of the flow and visualized in an LCD screen (liquid Cristal Display) by Industruino. The data is stored in a microSD memory for subsequent extraction by the observer. The system uses solar panels and a 12-volt battery for its power supply and ensures prolonged operation.

When the electronic transducer is installed, the necessary tests are carried out to verify the operation showing satisfactory results and are compared and verified with traditional methods.

## INTRODUCCIÓN

En el cantón Cayambe, el Consejo Provincial de la Provincia de Pichincha (GADPP) trabaja en conjunto con la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) y los moradores que se encuentran cerca de la acequia Pumamaqui en un proyecto de vinculación con la finalidad de mejorar la distribución de agua para sectores ganaderos y agrícolas minimizando efectos producidos por sequías, desperdicio de agua, erosión del suelo, pérdida del agua en el transcurso del canal, insuficiente cantidad de agua para el riego, deterioro de vegetación y una mala calidad de los pastizales.

Por esta razón es de vital importancia conocer el caudal de agua que circula en el canal, se propone el desarrollo de un transductor electrónico para la medición del caudal en canal tipo Parshall, el mismo que está formado por un sistema capaz de controlar, mediante un dispositivo electrónico los datos obtenidos por medio de un sensor, estos parámetros técnicos ayudarán corregir la distribución del líquido vital.

Este proyecto de titulación consta de cuatro capítulos. En el primero se encuentra información de los antecedentes, el problema de estudio, justificación y los objetivos a alcanzar con este proyecto.

En el segundo capítulo se detalla el marco conceptual, donde se dan a conocer los antecedentes del canal de riego Cayambe, de la acequia Pumamaqui, los tipos de medición de caudal y los dispositivos empleados en el proyecto.

En el tercer capítulo se describen todos los elementos que se utilizarán para el diseño del transductor electrónico, los planos del sistema, la interfaz de usuario y la posterior implementación de todo el sistema para cumplir con los objetivos planteados en este proyecto.

En el cuarto capítulo se realiza el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas de campo, el manual de uso y de mantenimiento, costos del proyecto, conclusiones y recomendaciones, en los anexos se presentarán las especificaciones de los sensores y las conexiones del dispositivo.

# **CAPÍTULO 1**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1 Planteamiento del Problema**

Ubicado en el noreste de la ciudad de Quito está el cantón Cayambe, en la cuenca del río Pisque, se encuentra la acequia Pumamaqui que distribuye el agua para los distintos sectores ganaderos y agrícolas.

Según proyectos de investigación desarrollados por el Consejo Provincial de la Provincia de Pichincha (GADPP) y la Universidad Politécnica Salesiana (UPS). La zona actualmente no cuenta con una correcta gestión del líquido vital y esto afecta la distribución del agua a los sectores aledaños generando inconvenientes tales como sequías, desperdicio de agua, erosión del suelo, pérdida del agua en el transcurso del canal, insuficiente cantidad de agua para el riego, deterioro de vegetación y una mala calidad de los pastizales.

De continuar con este inconveniente ¿se incrementarían las pérdidas económicas de los sectores antes mencionados, así como dificultades en la calidad de vida de los habitantes?

### **1.2 Justificación**

De acuerdo con la información de los proyectos de investigación se conocen varios métodos para la medición del caudal. Considerando la estructura física que el método implementado anteriormente presenta un método invasivo y la probabilidad de que el transductor se dañe por las crecidas de agua que se da en la época de invierno.

Se plantea implementar un transductor electrónico que se instalará en un aforador tipo Parshall.

A través del análisis del comportamiento del caudal de la acequia Pumamaqui, se mejorará la distribución del agua en temporadas donde el agua escasea y se fortalecerá la organización dentro de la comunidad de Pesillo.

El beneficio directo que tendrán los usuarios de la acequia Pumamaqui es mantenerse o incrementar la producción de leche, beneficiado a 800 familias aproximadamente.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Desarrollar un transductor electrónico para obtención de datos del caudal a canal abierto tipo Parshall en los afluentes de la microcuenca del río El Pisque en el cantón Cayambe.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Analizar el método de medición de caudal a canal abierto tipo Parshall para determinar las variables para el desarrollo del transductor.
- Desarrollar un prototipo del aforador para medición de caudal a canal abierto tipo Parshall para un afluente del río El Pisque en el cantón Cayambe.
- Implementar un módulo para el registro y gestión de datos del caudal de los afluentes de la microcuenca del río El Pisque en el cantón Cayambe.
- Validar mediante las pruebas de campo el transductor electrónico para medición de flujo a canal abierto tipo Parshall.

### **1.4 Beneficiarios del proyecto**

Este proyecto beneficiara a los profesionales del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del Centro de Apoyo Cayambe de la Universidad Politécnica Salesiana e indirectamente a los habitantes de las comunidades agrícolas cercanas a la cuenca del Río Pisque contribuyendo a la tecnificación de sus actividades agrícolas y de este modo obtener una mejor producción en sus cultivos.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 2.1 Canal de Riego Cayambe.

Conocer la zona de influencia del proyecto a implementarse es necesario para diseñar el transductor que mejor se adapte a este medio, hacer un análisis de la historia, cambios y usos que han ocurrido en el canal de riego sobre todo en la acequia de Pumamaqui es de suma importancia.

#### 2.2 Historia

Cayambe es uno de los ocho cantones pertenecientes a la provincia de Pichincha Ecuador, la cabecera cantonal se encuentra a 75 km. Al nororiente de la ciudad de Quito sobre los 2700 m.s.n.m. está conformada por ocho parroquias que son: Cayambe, Ayora, Juan Montalvo, Ascasubi, Cangahua, Oton, Santa Rosa de Cusubamba y Olmedo. (Garcia, 2011, p. 40)

Tabla 2.1, se describe detalladamente las parroquias que componen el proyecto Cuenca del río Pisque.

Tabla 2.1: Parroquias que componen el proyecto de la cuenca del Río Pisque

Cantón	Rurales	Urbanas
Cayambe	Olmedo	Cabera
	Ayora	Cantonal
	Cangahua	Cayambe
	Otón	
	Santa Rosa de Cuzubamba	Juan Montalvo
	Azcasubi	
Pedro Moncayo	Tupigachi	Tabacundo
	La Esperanza	
	Tocachi	
	Malchingui	
Quito	Parte de Guayllabamba	

Descripción detallada de las parroquias que componen el proyecto Cuenca del río Pisque, Elaborado por: Pablo Maldonado y Diego Román

El cantón Cayambe está formado por los ríos: Blanco, Cariacu, Cangahua, Coyago, Guachala, Granobles, la Chimba, Paquistancia, San José, Urvia., de estos se derivan las principales acequias. (García, 2011, p. 65)

El líquido vital es empleado para el riego y consumo doméstico en los habitantes del cantón, de ahí la importancia de su distribución, la misma que ha tenido conflicto desde la época hacendaria, por esta razón se construyeron una serie de acequias para el beneficio de los comuneros en la actualidad. (García, 2011, p. 65)

### **2.2.1. Acequia Pumamaqui.**

Se encuentra en la parroquia de Olmedo en el sector de Pesillo, es una derivación del río la Chimba con una capacidad de 300 l/s, con un recorrido de 165 km, terminando cerca de la provincia de Imbabura, esta acequia fue construida hace 300 o 400 años por los campesinos del sector. (Molina V., 2012)

## **2.3 Medición de caudal.**

Son los parámetros del volumen de agua que atraviesa por un área en un tiempo específico. (Dussaubat & Vargas)

Existen funciones que pueden ser usadas para la medición de caudal que son: conocimiento de los diferentes consumos, mezcla de varias corrientes en determinadas proporciones, realización de balance de materia alrededor del equipo.

### **2.3.1. Áreas de medición.**

El estudio de áreas de medición es bastante extenso empezando desde caudales en ríos grandes hasta caudales pequeños dentro de una industria como los que se utilizan en un analizador de gas.

### **2.3.2. Tipos de fluido**

Los fluidos que se pueden trabajar en la medición de caudal son: barrocos, pastosos, viscosos, de dos fases, con sólidos en suspensión, de alta velocidad, corrosivos dependiendo del proceso en el cual se desarrollen.

### **2.3.3. Clasificación de los medidores**

Se dividen en dos grandes grupos que son los medidores de caudal y de volumen.

#### **2.3.3.1 Medidores de caudal**

Su característica principal son los valores obtenidos en unidad de volumen por unidad de tiempo. Son utilizados para la medición de variables de proceso

#### **2.3.3.2 Medidores de volumen**

Su propósito principal es ser utilizado para fines contables, por ejemplo, para el llenado de reactores de naftas o más conocido como “blending”, entre los procesos más utilizados a nivel de industria. (Dussaubat & Vargas).

### **2.4 Medición de caudal en canal abierto o vertederos**

Al realizar la medición de caudal se define el concepto de canal abierto y canal cerrado por donde el fluido puede ser transportado.

#### **2.4.1. Canal**

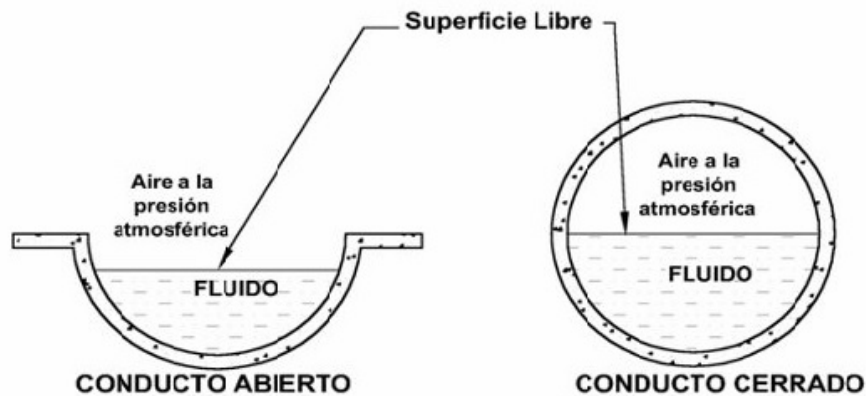
Son conductos por donde el fluido circula producto de la gravedad, sin ningún tipo de presión a más de la atmosférica, la misma que impulsa el movimiento del fluido, la diferencia entre un canal abierto y un canal cerrado es la cubierta que posee este último, la aplicación en la que se utilice que en su mayoría es para la industria en fluidos peligrosos para el ser humano y contaminantes para el medio ambiente.

Así también el canal cerrado se utiliza para puntos específicos de desemboque en donde el fluido no necesita ser usado en ninguna parte del trayecto, caso contrario sucede con el canal abierto que no posee una cubierta puesto que en su mayoría es empleado para el transporte de agua o fluidos no contaminantes para el ser humano y el medio ambiente.

La reacción física producida en el canal abierto y cerrado es la misma como se observa en la Figura 2.1. (Rodriguez Ruiz)



Figura. 2.1: Canal abierto y canal cerrado



Reacción física producida en el canal abierto y cerrado, Fuente: (Rodriguez Ruiz)

La medición de caudal es fundamental si se desea obtener valores reales a lo largo del canal, es aquí donde la hidrometría nos ayuda a cumplir con este trabajo.

Según Lux Monroy define a la Hidrometría como “la parte de la Hidráulica que tiene por objeto medir el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo dentro de una sección transversal de flujo.” (Lux Monroy, 2010)

Después de ser conocidos los conceptos principales para la medición de caudal se escoge al canal abierto como el más indicado a realizar este trabajo, puesto que lo que se transporta es agua a lo largo del sector de Pesillo.

El canal abierto se divide en varias clases que son utilizados de acuerdo con la necesidad y exactitud de las es que se pretenda obtener, estos son método volumétrico, vertederos y canal Parshall.

#### **2.4.2. Método volumétrico**

Este método se usa para caudales muy pequeños y utiliza un recipiente en el cual se recolecta el agua que ingresa, para conocer el caudal se realiza una división entre la cantidad de agua o también llamado volumen y el tiempo que dura en llenarse el recipiente, la ecuación de caudal para este método se presenta a continuación. (Rodriguez Ruiz)

$$Q = \frac{V}{T} \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Donde:

Q=caudal (l/s)

V= Volumen (l)

t= tiempo (s)

### **2.4.3. Vertederos**

Son aberturas u orificios sin el borde superior como se muestra en la Figura 2.2, por donde el líquido fluye, son utilizados en corrientes de fluido pequeño y en conductos libres que poseen ventajas como por ejemplo la precisión en los aforos, no son obstruidos por materiales que se encuentren en el camino, larga durabilidad. (Lux Monroy, 2010)

Las partes que lo componen son: contracción, cresta, ancho y carga como se muestra en la Figura 2.4.

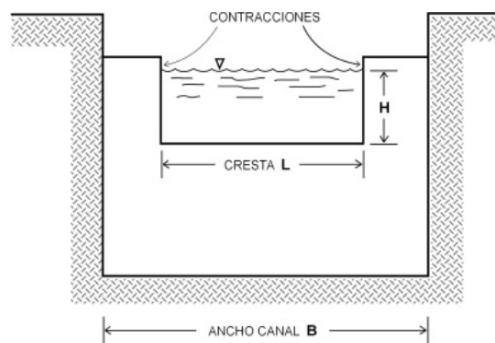
Contracción: Son los bordes o las caras verticales

Cresta (L): Es la base por donde circula el fluido

Ancho (B): Es el ancho del canal incluidos los bordes de la contracción.

Carga (H): Es la altura que alcanza el fluido desde la cresta, la carga debe ser medida aguas arriba del vertedero para asegurar valores reales y esta debe ser igual o mayor a los 4H

Figura. 2.2: Partes de un vertedero



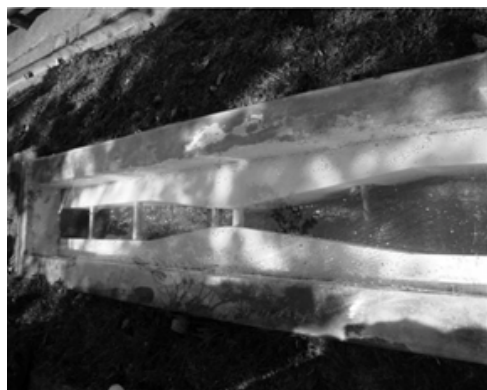
Vertedero con aberturas u orificios sin el borde superior, Fuente: (Lux Monroy, 2010)

#### 2.4.4. Canal Parshall

Es un canal geométrico que se caracteriza por tener en su estructura una forma hidráulica y medir el fluido que atraviesa una sección determinada del canal, la construcción del mismo puede realizarse con materiales como concreto, madera, fibra de vidrio o su vez con acrílico dependiendo del lugar y condiciones climáticas donde será ubicado. (Olivares, 2016)

El canal Parshall puede construirse de varias medidas esto dependiendo del lugar donde sea implementado y de esta misma condición es que se establece el tipo de material con el que se puede construir siendo el concreto el que se utiliza comúnmente en ambientes hostiles como se muestra en la Figura 2.3.

Figura. 2.3: Canal Parshall de concreto reforzado



Tipos de materiales empleados para la construcción del canal Parshall, Fuente: (Lux Monroy, 2010)

#### 2.4.4.1 Partes del canal Parshall

Está formado por cuatro partes que son la transición de entrada, sección convergente, garganta y sección divergente.

##### Transición de entrada

En esta sección se recomienda elevar el piso sobre el fondo del canal con una pendiente en relación de 1:4 es decir 1 de vertical y 4 de horizontal hasta comenzar la sección convergente, tomando en cuenta que el canal Parshall presenta una reducción en cierta área del mismo provocando que el fluido se eleve.

A continuación, se presentan las condiciones necesarias para la construcción del canal Parshall en función del ancho de la garganta. (Olivares, 2016)

Tabla 2.2: Condiciones para construcción del canal Parshall

Medidores menores a 30 cm	R=0.41 m
Medidores de 30 cm a 90 cm	R=0.51 m
Medidores de 120 cm a 160 cm	R=0.61 m

Condiciones para construcción del canal Parshall, Elaborado por Pablo Maldonado y Diego Román

##### Sección convergente

El fondo es horizontal y el ancho del canal disminuye

##### Garganta

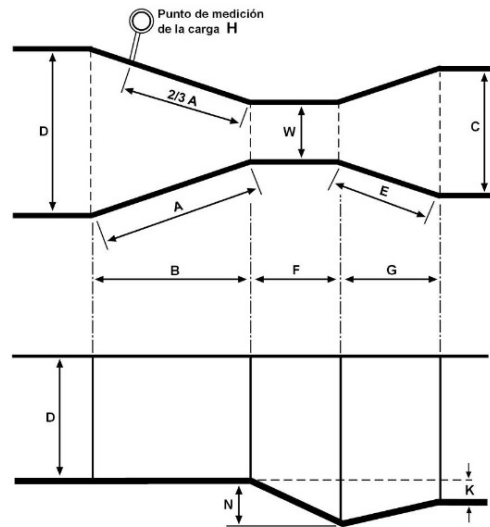
La base vuelve a bajar con una pendiente de 3:8 vertical y horizontal respectivamente.

##### Sección divergente

La base sube y tiene una pendiente con relación de 1:6 vertical y horizontal respectivamente.

A continuación, se presenta un ejemplo de las partes del canal Parshall con el lugar de medición de la carga H.

Figura. 2.4: Dimensionamiento del canal

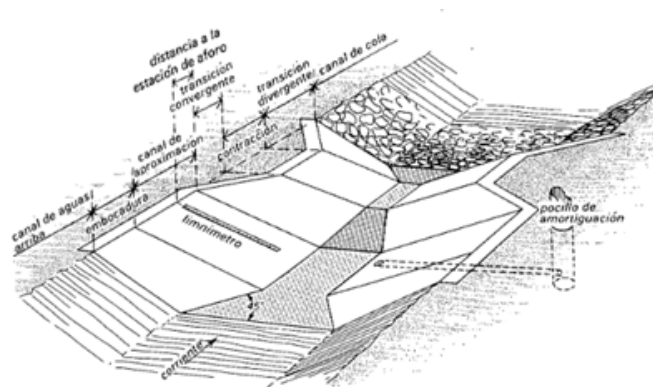


Dimensionamiento estándar del canal, Fuente: (Lux Monroy, 2010)

Cuando se realizan la medición de caudales se debe tomar en cuenta el tramo convergente por donde el agua se traslada hasta llegar a la que se conoce como garganta del aforador; al llegar a este punto el líquido toma una velocidad mayor en comparación a la velocidad con la que ingresa al canal.

Existen dos conceptos que se debe conocer antes de realizar la medición de caudal y es la definición de aguas arriba y aguas abajo. Siendo la primera aquel punto que se dirige en sentido contrario a la corriente mientras que Aguas Abajo es el punto que se dirige en el mismo sentido de la corriente.

Figura 2.5: Distribución general para la medición de caudal



Distribución general para la medición de caudal en un canal Parshall, Fuente: (Lux Monroy, 2010)

#### 2.4.5. Sensor de caudal ultrasónico

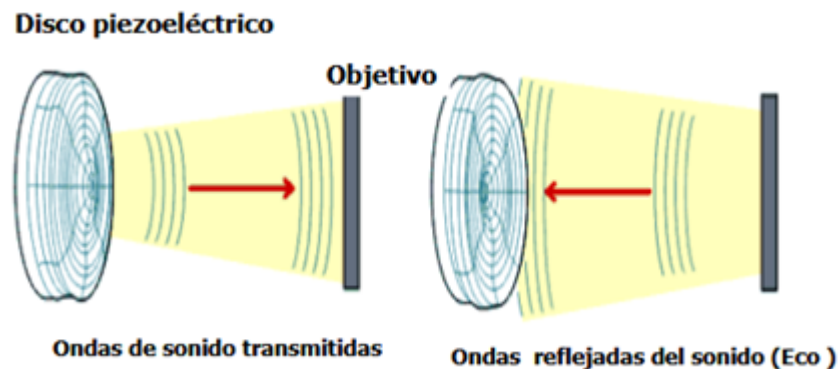
Es un dispositivo de proximidad capaz de trabajar libre de roces mecánicos, tienen la capacidad de detectar objetos a distancias pequeñas (milímetros) como a distancias largas (metros) dependiendo de la capacidad de cada uno de ellos.

Se les conoce como ultrasónicos o de ultrasonido debido a que captan las vibraciones de frecuencia superiores a las que un ser humano puede detectar, es decir mayores a los 20 KHz.

El sensor consta de un cabezal (emisor) en su estructura interna la misma que emite una onda ultrasónica que viaja hasta encontrarse con algún objeto, así, la onda reflejada retorna desde el objeto (receptor) hacia el cabezal (emisor). Los sensores ultrasónicos muestran al usuario es el tiempo que tarda la onda entre la emisión y la recepción de la señal. (KEYENCE, 2016)

Cuando el objetivo entra dentro del rango de operación preestablecido, la salida del interruptor cambia de estado como se muestra en la Figura 2.6.

Figura 2.6: Emisión y recepción de la Onda Ultrasónica

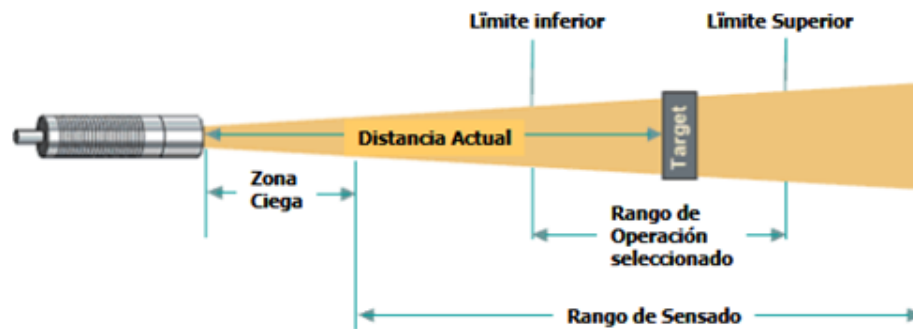


Emisión y recepción de la Onda Ultrasónica en un sensor de ultrasonido, Elaborado por: Pablo Maldonado y Diego Román

Cuando el objetivo se sale del rango preestablecido, la salida regresa a su estado original.

Dentro del funcionamiento del sensor se encuentra la zona ciega, la misma que se encuentra justo en frente del sensor, esta puede variar en un rango desde los 6<sup>a</sup> los 8cm, es decir que la ubicar un objeto en esta zona se produce una salida inestable.

Figura 2.7: Zona ciega del sensor ultrasónico



Zona ciega del sensor ultrasónico y el rango de sensado, Fuente: (Canto, 2012)

El rango de operación puede ajustarse con dos condiciones, su ancho y posición dentro del rango establecido, dentro de este rango se encuentran el límite superior e inferior, en donde el superior puede ser ajustado con cualquier tipo de sensor ultrasónico pero el inferior solo en ciertos tipos.

En el mercado se encuentran varios tipos de sensores ultrasónicos industriales, los parámetros a considerar para su utilización son: resolución, rango de sensado, grado de protección, tipo de interfaz y rangos de operación. El sensor que mejor se ajusta estos requerimientos es el MB7369 de la marca MAX-BOTIX, a continuación, se detalla sus principales características.

#### 2.4.5.1 Sensor ultrasónico industrial MB7369

El sensor MB7369 pertenece a la línea de sensores HRXL-Max Sonar, que proporciona una alta resolución, precisión, proximidad que se detalla en la Tabla 2.2.

Tabla 2.3: Características generales (MaxBotix, 2012)

<b>Detección</b>	5m - 10m
<b>Resolución</b>	1 mm
<b>Distancia de sensado</b>	30 cm - 5m
<b>Operación de rango de temperatura</b>	40 °C +65°C
<b>Operación de voltaje</b>	2.7 V - 5.5 V
<b>Corriente nominal</b>	2.3 mA

Características generales del sensor MB7369, fuente: (MaxBotix, 2012)

El sensor MB7369 posee cinco pines de conexión y dos pines de alimentación como se observa en la Figura 2.8 y se detallan en la Tabla 2.3; La distribución de los pines se detalla en la Tabla 2.3 (MaxBotix, 2012)

Tabla 2.4: Conexión de Pines

<b>PIN 1</b>	Conexión para sensor temperatura
<b>PIN 2</b>	Salida de ancho de pulso
<b>PIN 3</b>	Salida de voltaje analógico
<b>PIN 4</b>	Rango inicio/ detección
<b>PIN 5</b>	Salida serial RS232
<b>PIN 6</b>	VCC+
<b>PIN 7</b>	GND

Descripción de pines del sensor MB7369, fuente: (MaxBotix, 2012)

Figura 2.8: Sensor ultrasónico MB7369



Sensor ultrasónico MB7369 con sus respectivos pines de conexión, Fuente: (MaxBotix, 2012)

Como se puede observar en la Tabla 2.4 el sensor ultrasónico permite conexiones para un sensor extra de temperatura y así compensar las lecturas de acuerdo con el ambiente



en el que se encuentra, y el trabajo en diferentes interfaces RS232(estándar recomendado 232), voltaje analógico y PWM (Pulse Width Modulation) haciendo que el sensor sea útil para varios tipos de control.

## **2.5 Industruino**

Industruino es la versión industrial del Arduino, el cual se caracteriza por utilizar valores de voltaje de 0 V-10 V, corrientes de 4 mA – 20 mA en las entradas y salidas tipo relé a nivel industrial, con la facilidad de manejarlos de manera flexible.

Es un controlador de características completas que se encuentran alojadas en una caja de montaje de riel DIN, compuesta por una pantalla LCD y un panel de membrana como se puede observar en la Figura 2.8. Se puede utilizar a este dispositivo como un simple programador o a su vez como una aplicación, el Industruino permite utilizar software de Arduino. (Industruino, 2015)

Figura 2.8: Industruino



Vista del Industruino con su módulo ethernet, Fuente: (Industruino, 2015)

## **2.6 Características generales.**

Entre las características principales se tiene:

- Niveles Industriales I/O (24V digital I/O, 0-10V/4-20mA analógico I/O).
- Digital I/O Pins: 17
- Puerto de comunicación aislado RS485.
- I/O disponibles en fichas desmontable.
- Caja para montar en carril DIN.

- LCD retroiluminado de 128×64 pixeles.
- botones de membrana en el panel superior.
- Precargado con el bootloader de Arduino.
- Corriente DC por el Pin 40 mA
- Corriente DC 3.3V para el Pin 50 mA
- Memoria Flash 32 KB (32u4) / 128 KB (1286).
- SRAM 2,5 KB
- EEPROM 1 KB
- Velocidad de reloj de 16 MHz
- Totalmente compatible con la IDE de Arduino y puerto USB de programación.
- Microcontrolador :32u4 o AT90USB1286.
- Expansión con módulo Ethernet o GPRS.

(Garcia Cobo, 2015)

## CAPÍTULO 3

### DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL TRANSDUCTOR ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DE CAUDAL

En el siguiente capítulo se detalla el diseño tanto en software como hardware del transductor electrónico, y su posterior implementación.

#### 3.1 Diseño del proceso

Para desarrollar el diseño de proceso de forma clara se debe conocer el número de entradas y salidas del sistema. El proceso inicia al ingresar el agua por el canal Parshall. siendo esta la única entrada que el sistema dispone, se tiene la salida formada por un indicador con el valor de caudal, que se almacena en una base de datos.

Para cumplir con este proceso el líquido ingresa al canal Parshall llegando hasta al ancho de la garganta como se observa en la Figura 3.3, en donde se encuentra ubicado el sensor ultrasónico, mismo que realiza la lectura del caudal utilizando un algoritmo realizado en el software de programación, al sensarlos, estos valores son almacenados en una tarjeta MicroSD como base datos, a la que el supervisor encargado puede acudir cada vez que lo desee.

Figura 3.1: Diagrama de funcionamiento del transductor electrónico

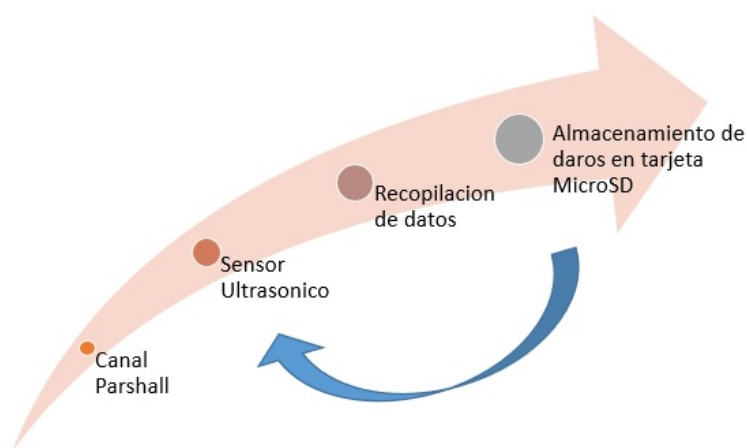


Diagrama de funcionamiento por etapas del transductor electrónico, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

### 3.2 Construcción de canal Parshall

Debido a que esta zona no posee ningún tipo de elevaciones en el recorrido del canal que provoquen es erróneas cuando el sensor se encuentra en funcionamiento. Se realiza el cálculo para las dimensiones del aforador considerando los estándares que debe cumplir, entre ellos se tiene el ancho de la garganta (W) en función del Caudal (Q) en litros/segundo como se muestra en la Tabla 3.1, al realizar la comparación con las medidas del canal se establece que el ancho de la garganta se encuentra en un rango de 91.5 cm a 122.0 cm, por lo tanto, el valor que se elige es de 100 cm con el objetivo de facilitar los cálculos.

Tabla 3.1: Valores estandarizados del ancho de la garganta y caudal

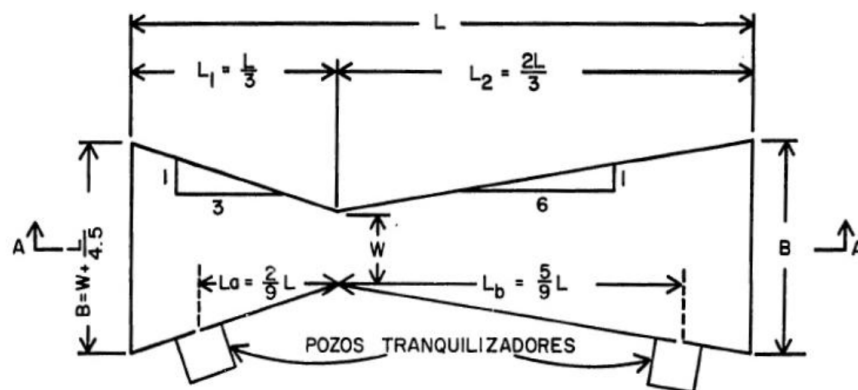
Ancho de la garganta		Caudal Q(l/s)	
Pulgadas	Centímetros	Mínimo	Máximo
3"	7.6	0.85	53.8
6"	15.2	1.52	110.4
9"	22.9	2.55	251.9
1'	30.5	3.11	455.6
1 1/2'	45-7	4.25	696.2
2'	61	11.89	936.7
3'	91.5	17.26	1426.4
4'	122	36.79	1921.5
5'	152.5	62.8	2422
6'	183	74.4	2929
7'	213.5	115.4	3440
8'	244	130.7	3950
10'	305	200	5660

Comparación entre variables, ancho de la garganta y caudal, fuente: (Olivares, 2016)

El calado que se debe realizar en el canal es el siguiente requerimiento importante que debe cumplir, esto se refiere a la inclinación que se le da partiendo desde la parte ancha de la garganta ( $L_1$  y  $L_2$ ) en donde  $L_1$  debe estar a un tercio y  $L_2$  a dos tercios de la longitud de la zona convergente desde su sección final respectivamente, tal como se observa en la Figura 3.2, Se tiene como dato que el largo del aforador (L) es de 270 cm, esto debido a que en el área que se construye el canal no existen elevaciones bruscas que impidan errores en la edificación. Partiendo de este antecedente se calculan los valores de  $L_1$  y  $L_2$  de 90 cm y 180 cm respectivamente.

En la parte inferior del canal, el lado  $L_a$ , debe estar calado a las dos novenas partes de la longitud de la zona convergente desde el ancho de la garganta y el lado contrario  $L_b$ , con las cinco novenas partes de la longitud de la zona convergente a partir de su sección final, al cumplir con estas es se obtiene que  $L_a$  es de 60 cm y  $L_b$  de 150 cm. El ancho del canal (B) es la suma del ancho de la garganta (W) y el largo del canal (L) dividido para 4.5, puesto que ya se conocen estos dos valores se tiene como resultado que B es de 160 cm, todas estas mediciones se pueden observar en la Tabla 3.2. (Olivares, 2016)

Figura 3.2: Dimensiones del canal Parshall



Dimensiones del canal Parshall a considerar para la implementación, Fuente: (Olivares, 2016)

En la Tabla 3.2 se muestran las medidas con las que se van a implementar el canal Parshall:

Tabla 3.2: medidas a implementar en canal Parshall

<b>B</b>	160 [cm]
<b>L</b>	270 [cm]
<b>L<sub>1</sub></b>	90 [cm]
<b>L<sub>2</sub></b>	180 [cm]
<b>W</b>	100 [cm]
<b>L<sub>a</sub></b>	60 [cm]
<b>L<sub>b</sub></b>	150 [cm]

Dimensiones del canal Parshall a implementar, elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

### 3.2.1. Cálculo para la medición de caudal

Con los datos de las medidas del aforador tipo Parshall es posible realizar los cálculos necesarios para encontrar el caudal en litros/segundo en función de la profundidad del flujo aguas arriba para esto se emplea la siguiente formula:

$$Q = C(h_a)^n \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Donde:

$Q$ =descarga, m<sup>3</sup>/s

$h_a$ = Profundidad del flujo aguas arriba, m

$n$ = Exponente de flujo libre

$C$ =Coeficiente de flujo libre

El exponente  $n$  solo depende de la longitud del aforador ( $L$ ) por lo que se considera como una constante en los medidores “sin cuello” de la misma longitud. Para el coeficiente de flujo libre,  $C$ , depende de la longitud del aforador ( $L$ ) y de la amplitud de la garganta ( $W$ ), por esta razón se la puede encontrar con esta relación: (Alfaro, 1980).

$$C = K \times W^{1,025} \quad \text{Ec. (3.2)}$$

En donde  $K$  anteriormente no definido es el coeficiente de longitud del aforador para flujo libre. (Alfaro, 1980)

Se debe considerar la siguiente Tabla 3.3 que muestra valores de las constantes dependiendo de las medidas del canal, para este caso se trabaja con flujo libre debido a que no presentan obstáculos en el canal, y se usa la formula correspondiente a flujo libre, la mismo que solo depende de la profundidad del flujo aguas arriba ( $h_a$ ) como se muestra en la ecuación 3.2

Tabla 3.3: Valores en flujo libre

<b>L</b>	<b>St</b>	<b>Flujo libre</b>		<b>Flujo Sumergido</b>	
<b>Metros</b>	<b>%</b>	<b>a</b>	<b>k</b>	<b>ns</b>	<b>Ks</b>
0.5	60.7	2.08	6.15	1.675	3.5
0.6	62	1.959	5.17	1.6	2.9
0.7	63	1.932	4.63	1.55	2.6
0.8	64.2	1.88	4.18	1.513	2.35
0.9	65.3	1.843	3.89	1.483	2.15
1	66.4	1.81	3.6	1.456	2
1.2	68.5	1.756	3.22	1.427	1.75
1.4	70.5	1.712	2.93	1.407	1.56
1.6	72	1.675	2.72	1.399	1.45
1.8	73.8	1.646	2.53	1.386	1.32
2	75.5	1.62	2.4	1.381	1.24
2.2	77	1.6	2.3	1.378	1.18
2.4	78.4	1.579	2.22	1.381	1.12
2.6	79.5	1.568	2.15	1.386	1.08
2.7	80.5	1.562	2.13	1.39	1.06

Relación entre la Longitud del aforador, la Sumersión transitoria y los coeficientes y exponentes para el cálculo de la descarga en condiciones de flujo libre y sumergido, Elaborado por: Pablo Maldonado y Diego Román

Considerando las constantes de la Tabla 3.3 tenemos los siguientes valores:

$$N=1.562$$

$$K=2.13$$

$$W= 1 \text{ [m]}$$

$$C = K \times W^{1.025} = 2.13 \times 1^{1.025} = 2.13 \quad \text{por ende:}$$

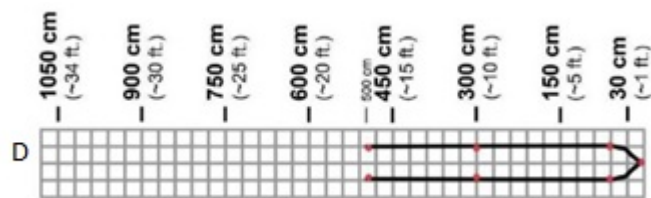
$$Q = C(h_a)^n = 2.13 \times h_a^{1.562}$$

Siendo esta última ecuación la que se empleara en el sistema para que en función de la altura se calcule el caudal.

### 3.3 Ubicación del Sensor ultrasónico en el canal Parshall

Las características por considerar para la ubicación del sensor ultrasónico son la resolución, precisión y distancia de sensado que se necesita para que los datos tengan una alta fiabilidad, ya que estas condiciones varían de acuerdo con el modelo que se utiliza. Se escogió el sensor ultrasónico de marca MaxSonar, modelo MB7369, el cual tiene un haz máximo de 450 cm y mínimo de 30 cm, como se observa en la Figura 3.3, una resolución de 10 bits y una precisión de 2 mm como indica la Tabla 2.2 del capítulo 2.

Figura 3.3: Características aproximadas de sensor ultrasónico MB7369 tipo D



Características del haz aproximadas de sensor ultrasónico industrial MB7369 tipo D, Fuente: (MaxBotix, 2012)

Puesto que el haz de lectura se encuentra en un rango de 30 cm a 450, se decide ubicar al sensor a una distancia de 150 cm, garantizando de esta manera el funcionamiento normal del sensor ultrasónico

#### 3.3.1. Diseño de la posición del sensor

Para la ubicación del sensor se debe considerar el espejo de agua que existe en los pozos tranquilizantes del canal Parshall aguas arriba y aguas abajo, mismo que está basado en el principio de vasos comunicantes y sirve para conocer el nivel real del espejo de agua. Puesto que en el canal Parshall el líquido transportado es de flujo libre, es decir, que no existen obstrucciones al paso del mismo, se ubica al sensor en el pozo tranquilizante aguas arriba como se lo explica en capítulo 2 apartado 2.4 El diámetro del pozo tranquilizante es de 3 pulgadas y se encuentra incrustado en una de las paredes del canal como se muestra en la Figura 3.4



Figura 3.4: Ubicación del sensor electrónico



Ubicación del sensor electrónico en el canal, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

### **3.4 Acondicionamiento de señal electrónica.**

Antes de realizar la implementación del transductor electrónico se debe conocer el número de entradas y salidas que tendrá el sistema, así como también los componentes que la conforman. El sistema se divide en tres partes relevantes que son: alimentación, lectura y almacenamiento de datos.

#### **3.4.1. Alimentación.**

Puesto que el transductor electrónico será ubicado a la intemperie y no existen fuentes de alimentación cercanas, se hace uso de un panel solar marca ZHONAN 50Wp, mismo que proporciona un voltaje de 12 V, los cuales se acoplan perfectamente tanto para la batería UCG55 como a el controlador MorningStar SunSaver como se observa en la Figura 3.6. La batería entra en funcionamiento en caso de que el panel no entregue el voltaje necesario, mientras que el controlador mediante tres leds presenta el estado de la batería y un led adicional muestra el estado de conexión del panel, también se encarga de controlar las caídas de tensión que puedan averiar al sistema. El Industruino por su parte trabaja con un voltaje de alimentación de 12V, el controlador SunSaver provee de este voltaje en unas de sus salidas que son regulados por el Industruino para la alimentación del sensor ultrasónico MB7369. Los datos técnicos de cada uno de estos dispositivos se los puede observar en el apartado de anexos.

Figura 3.5: Diagrama de alimentación para transductor electrónico

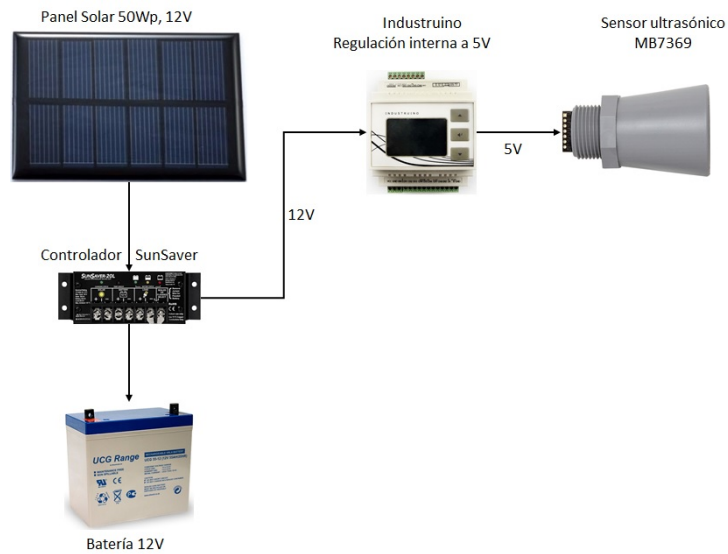


Diagrama de conexión para la alimentación del transductor electrónico, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

### 3.4.2. Energía diaria consumida

Se deben considerar todos los dispositivos que estén conectados a la batería, que consuman energía y estos son:

- Industruino
- Sensor Ultrasónico
- Módulo micro SD
- Controlador de carga

Es necesario conocer la potencia nominal de cada dispositivo para encontrar el valor de energía consumida al día, para esto se emplea la siguiente formula:

$$P = V \times I \quad \text{Ec. (3.3)}$$

Donde:

P= Potencia Nominal [W]

I= Corriente [A]

V= Voltaje DC [V]

En la Tabla 3.1 se muestran los valores de Potencia Nominal relacionados con el tiempo que estarán en funcionamiento, dando como resultado el valor de la Energía Diaria Consumida en unidades Vatio/Hora.

$$E = P \times H \quad \text{Ec. (3.4)}$$

Donde:

E= Potencia Diaria Consumida [W/H]

P= Potencia Nominal [W]

H= Tiempo de funcionamiento [H]

Al sumar los valores de Energía diaria consumida de cada dispositivo se puede llegar a determinar la Energía Total que requiere la estación y de este modo seleccionar los elementos que conforman el diseño fotovoltaico.

Tabla 3.4: Valores de energía consumida

Dispositivo	Cantidad	Voltaje de operación (V)	Corriente de consumo (A)	Potencia nominal (W)	Tiempo de operación (H)	Energía individual diaria consumida (W/H)
Industruino	1	12	0,08	0,96	24	23,04
Sensor Ultrasónico	1	5	0,05	0,25	24	6
Modulo micro SD	1	5	0,01	0,05	24	1,2
Controlador de carga	1	12	0,001	0,012	24	0,288
			TOTAL			30,528

Consumo de energía de cada componente de cada estación, Elaborador por Pablo Maldonado y Diego Román

Con los datos obtenidos en la Tabla 3.1 del valor de energía consumida al día que es de 30.52 W/h, se puede encontrar un valor más aproximado al real dividiendo para la eficiencia de la batería. (Caluña & Jordán, 2017)

$$E = \frac{\text{Energía Diaria Consumida}}{\eta} \quad \text{Ec. (3.5)}$$

$$E = \frac{30.528}{0.95}$$

$$E = 32.13 \text{ W}$$

### 3.4.3. Dimensionamiento de la Batería

Para calcular el dimensionamiento de la batería se considera que no se debe descargar totalmente la batería, ya que se disminuye la vida útil, es recomendable añadir un 25% al cálculo anterior, considerando esto tenemos:

$$E = 1.25 * 32.13 = 40.17 \text{ W}$$

Otro dato importante que se debe tener en cuenta es la temperatura ya que se ha registrado temperaturas de hasta 4 °C, para esto se presentan las siguientes referencias de valores estimados de capacidad según la temperatura para una batería de gel.

40°C la batería posee 102% de capacidad

25°C la batería posee 100% de capacidad

0°C la batería posee 85% de capacidad

-15°C la batería posee 65% de capacidad

Para este cálculo se trabaja con el 85% de la capacidad considerando los 0 °C como pico más bajo de temperatura que se puede obtener en el lugar de la instalación.

Si restamos 85% de la capacidad del 100% considerado tendremos un 15% que se deben aumentar al valor total.

$$100 - 85 = 15\% \text{ entonces:}$$

$$E = 40.17 * 1.15 = 46.19 \text{ W}$$

Finalmente se divide este valor por la tensión de la batería y encontramos la capacidad de la batería en amperios hora (A/h).

$$\text{Capacidad de la batería} = \frac{46.19}{12} = 3.84 \text{ A/h}$$

El valor estándar que se aproxima este valor es de 4 (A/h), en nuestro caso usamos una batería de 7 (A/h) para prolongar la autonomía de la estación.

#### 3.4.4. Dimensionamiento del panel solar y regulador de carga.

Se puede encontrar el número de paneles necesarios mediante la siguiente ecuación: .  
(Caluña & Jordán, 2017)

$$NT = \frac{E_T}{P_p \times hps \times F_g} \quad \text{Ec (3.6)}$$

Donde:

ET = Energía Total Consumida es el parámetro de consumo total de la carga.

Fg= Factor Global de Pérdidas (Rango 0.65 – 0.90)

Pp= Potencia pico del panel solar (50W)

Tenemos que nuestra energía total es de 46.19 W, si consideramos como factor global de pérdidas 0.9 y la potencia total del panel de 50 W, entonces tenemos que NT= 0.48 (48%), esto significa que con la mitad de la capacidad del panel solar cubre la demanda de energía del sistema.

#### 3.4.5. Lectura de datos

Antes de realizar la lectura de datos por medio del sensor ultrasónico se debe hacer el cálculo de caudal (L/s) que atraviesa el canal. Al conocer dichos valores se desarrolla la programación en el software Arduino, plataforma compatible con Industruino. En la que se establece un formato de presentación con fecha y hora de lectura, condiciones necesarias para conocer los valores de caudal en tiempos exactos.

#### 3.4.6. Almacenamiento

Los valores obtenidos de la lectura del sensor deben ser guardados en una tarjeta de almacenamiento MicroSD, la cual se encuentra conectada al Industruino mediante interfaz serial. La tarjeta MicroSD puede ser retirada cada vez que el administrador lo desee de forma sencilla culminando de esta manera el trabajo del transductor electrónico.

### 3.4.7. Diseño y desarrollo del hardware

Como se ha mencionado el principio de funcionamiento del transductor electrónico es la medición del caudal (Entrada) por medio de un sensor ultrasónico, el control de los datos utilizando un Industruino y su posterior almacenamiento en una tarjeta MicroSD, la Figura 3.6 muestra el diseño general de todo el sistema.

Figura 3.6: Diagrama de bloques de hardware

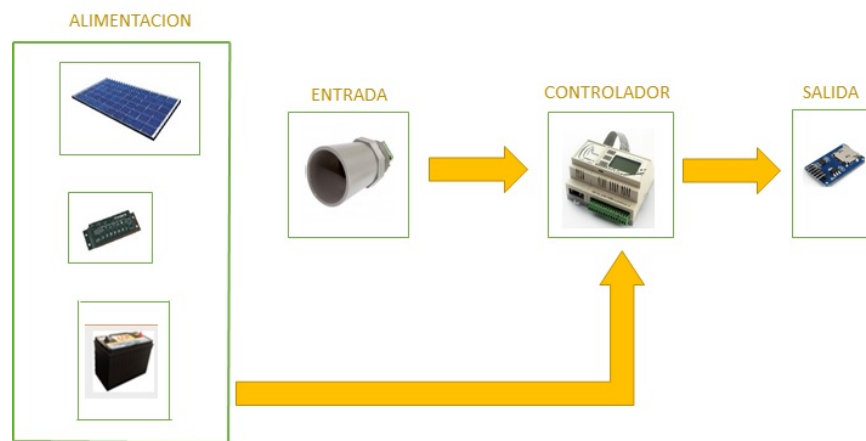
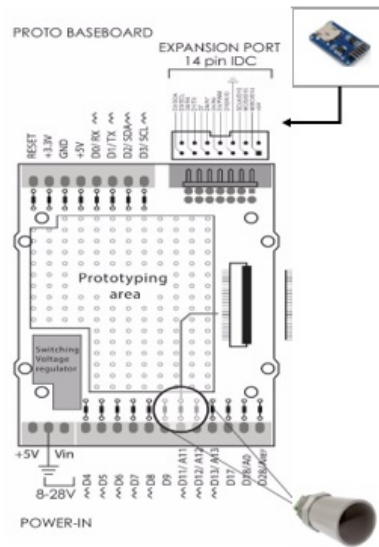


Diagrama de bloques de los elementos electrónicos del transductor, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

### 3.4.8. Conexión general del Industruino con sensor ultrasónico y módulo MicroSD

Desde Industruino se realizan las conexiones hacia el sensor ultrasónico y al módulo de la tarjeta MicroSD, como se ha explicado estos dispositivos son alimentados con el mismo voltaje (+5V) por lo que no necesita de ningún circuito externo. Como se puede observar en la Figura 3.7 Industruino posee 6 pines dispuestos para la conexión del módulo de la tarjeta MicroSD denominado Puerto de Expansión IDC y para la conexión del sensor ultrasónico dispone de 3 pines, VCC (+5V), GND y A13 correspondiente a la señal analógica.

Figura 3.7: Conexión general de Industruino



Conexión general de Industruino con módulo MicroSD y sensor ultrasónico, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

### 3.4.9. Conexión del Industruino con el sensor ultrasónico

En el Industruino los niveles de voltaje de entrada se encuentran en un rango de 7-28 V y de salida de 5V, trabajando con una corriente de 2A. Estas son características que permiten realizar la conexión con el sensor ultrasónico sin ningún tipo de inconvenientes, ya que el nivel de voltaje de ambos es el mismo.

Para la conexión del sensor se utilizan los dos pines de alimentación VCC y GND y la entrada de la señal analógica A13 del Industruino, mientras que para el sensor se utiliza los pines 1 y 2 para alimentación y 5 de la señal analógica. Tal como se muestra en la Figura 3.8

Figura 3.8: Conexión del sensor ultrasónico con el Industruino

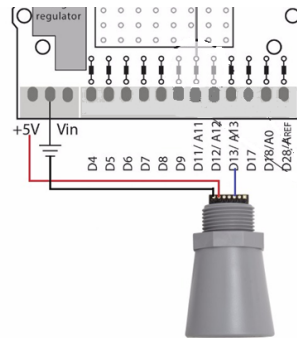


Diagrama de conexión del sensor ultrasónico con el Industruino, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

#### 3.4.10. Conexión del módulo MicroSD

Los datos que son obtenidos mediante la lectura del sensor ultrasónico deben ser guardados en la memoria del controlador, puesto que el Industruino no posee un almacenamiento extenso se utiliza una tarjeta MicroSD de 2Gb, espacio suficiente para guardar la información obtenida y que será retirada al menos una vez cada 30 días para evitar pérdida de datos.

Para guardar la información del caudal en la tarjeta MicroSD se realiza un promedio de lectura cada treinta minutos, con un total de 1800 muestras, la programación se muestra en el apartado 3.5.2.

El Industruino dispone de 6 pines para la conexión con el módulo de la tarjeta MicroSD que son:

Pines de alimentación: VCC (+5V) y GND.

Envío de datos desde el Industruino (MISO): D14

Recepción de datos del sensor ultrasónico (MOSI): D16

Reloj (SCLK): D15

Bit habilitador para el envío de datos desde el Industruino: D4/A6 (Industruino, 2015)

La conexión del Industruino con el módulo de la tarjeta MicroSD se muestra en la Figura 3.9, en el apartado de anexos se puede conocer a detalle la hoja de datos de cada dispositivo.



Figura 3.9: Conexión de Industruino con módulo MicroSD.

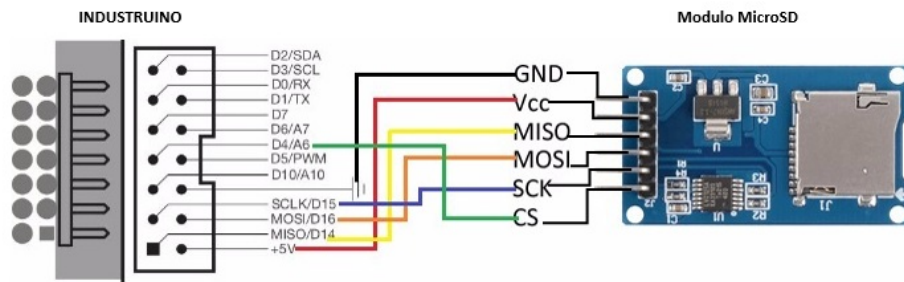
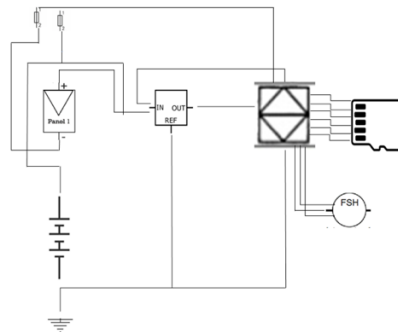


Diagrama de conexión de Industruino con módulo MicroSD, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

### 3.5 Diagrama de conexión en tablero de control

El transductor electrónico está conformado por dos partes importantes, el área de control y área eléctrica, por ello el tablero de control se divide en ambas partes. Considerando que pueden existir descargas eléctricas se ubica un portafusibles por prevención para proteger a los dispositivos sensibles como el Industruino y módulo de la tarjeta MicroSD, el diagrama de conexiones se muestra en la Figura 3.10

Figura 3.10: Diagrama de control



Conexión para el diagrama de control, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

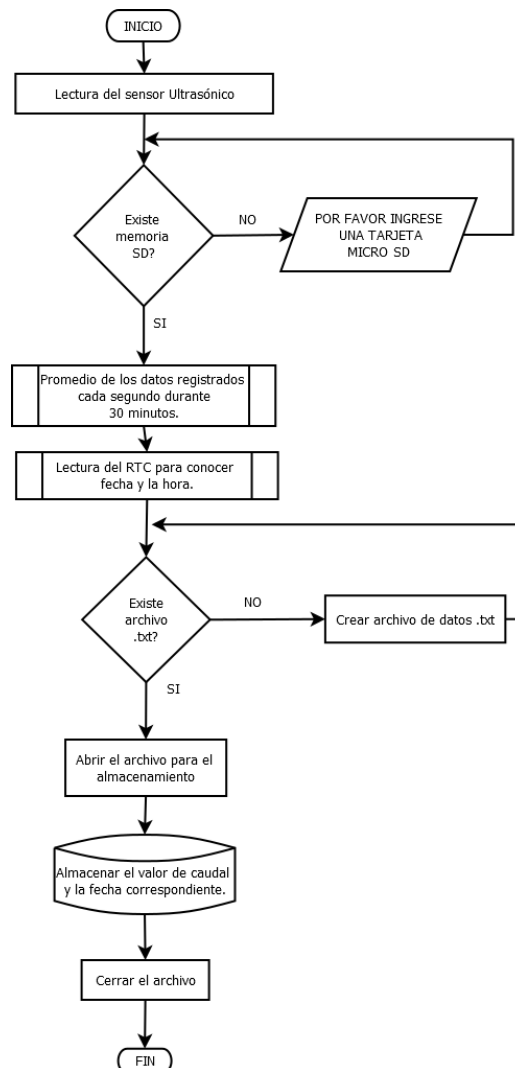
### 3.6 Programación en Industruino

Para realizar la programación en Industruino se realiza el diagrama de flujo que permite tener un panorama general de las condiciones con las que debe trabajar el Industruino juntamente con el sensor, estas condiciones se detallan en el apartado 3.5.2 correspondiente a la programación.

### **3.6.1. Diagrama de flujo**

El programa inicia con la lectura del sensor ultrasónico ubicando la primera condición para la lectura de los datos y esta es, conocer si la tarjeta MicroSD se encuentra en el módulo, si es así, el programa continuo, de lo contrario se repite la misma pregunta hasta que la tarjeta sea ingresada. Posterior a esto se realiza el promedio de los datos obtenidos cada segundo durante un periodo de 30 minutos. Haciendo uso del RTC interno que dispone Industruino, se solicita la fecha y hora para identificar el promedio de los datos del sensor en ese instante, la segunda condición que se desprende es la creación de un archivo con formato .txt para guardar los datos leídos por el sensor, si este existe, el programa continua, caso contrario se detiene hasta la creación de uno, el siguiente proceso es abrir el archivo y realizar el cálculo del valor del caudal en litros por segundo, este resultado es guardado con la fecha correspondiente y se repite hasta terminar con todos los datos ingresados. El proceso concluye al guardar los resultados obtenidos y el cierre del archivo.

Figura 3.11: Diagrama de flujo para el almacenamiento de datos en Industruino.



Condiciones para el funcionamiento de lectura y almacenamiento de datos en Industruino, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

### 3.6.2. Programación

Como se explicó en el apartado 3.5.1 las condiciones que debe cumplir la programación son importantes para mostrar valores coherentes con la realidad, es por ello que a continuación se detalla cada una de estas.

Para la lectura de datos por medio del sensor ultrasónico se consideran parámetros importantes, el control de error cuando se desconecta la tarjeta MicroSD, cálculo de promedio para los datos obtenidos semanal y mensualmente y el almacenamiento de

los datos en la MicroSD. La programación de estos parámetros se presenta a continuación.

### 3.6.2.1 Control de errores cuando se desconecta la memoria

La primera condición que se cumple es identificar si la tarjeta MicroSD se encuentra ubicada en el módulo, esto se logra con un lazo while, mientras la tarjeta se encuentra conectada el comando “SD.begin (4)” toma el valor de cero y no ingresa a esta condición, caso contrario si la memoria esta desconectada el comando “SD.begin(4)” toma el valor de uno mostrando en la LCD un mensaje de error. Como se observa en la Figura 3.12

Figura 3.12: Control de errores cuando se desconecta la memoria MicroSD.

```
while (SD.begin(4))
{
    if(aux_lcd1==0){
        lcd.clear();
        aux_lcd1=1;
        aux_lcd2=0;
    }

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("      !ERROR!");
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print(" COLOQUE LA MEMORIA");
    lcd.setCursor(0, 4);
    lcd.print(" APAGUE Y PRENDA ");
    lcd.setCursor(0, 5);|
    lcd.print("      EL EQUIPO");
    SerialUSB.println(F("Error al iniciar no hay micro SD"));
    // return;
}
```

Función para el control de errores cuando se desconecta la memoria MicroSD, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román.

### 3.6.2.2 Presentación de datos

Se inicia limpiando el contenido de la pantalla LCD, se ubica al cursor en el eje de las abscisas y ordenadas con posición 30,1 y se coloca el valor promedio del caudal. Se realiza el mismo paso para la lectura serial la cual muestra los datos en el computador.

Figura 3.13: Presentación de datos en pantalla LCD.

```
/// FECHA
if(aux_lcd2==0){
  lcd.clear();
  aux_lcd2=1;
  aux_lcd1=0;
}
/// GUARDAR DATOS EN SD

lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(" MEDIDOR DE CAUDAL");

lcd.setCursor(30, 1);
lcd.print(ave.mean());
SerialUSB.println(analogRead(13)*5);
SerialUSB.println(ave.mean());

lcd.setCursor(60, 1);
lcd.print("L/S");
```

Algoritmo para la presentación de datos en pantalla LCD, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

### 3.6.2.3 Guardar los datos en la MicroSD

Para guardar los datos se debe considerar que el archivo .txt exista, caso contrario debe ser creado. Una vez creado, es abierto usando el comando “SD.open”, se guardan los datos comenzando por la palabra “Caudal (L/s)”, seguido del promedio de caudal y la fecha y finalmente se cierra el archivo utilizando el comando “logfile.close”

Figura 3.14: Almacenamiento de datos en tarjeta MicroSD

```
logfile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
logfile.print(" CAUDAL(L/S):");
logfile.print(" ");
logfile.print(ave.mean());
logfile.print(" FECHA:");

logfile.close();
}
else {
  SerialUSB.println("Error al abrir el archivo ");
}

if(aux_lcd1==0){
  lcd.clear();
  aux_lcd1=1;
  aux_lcd2=0;
}
```

Algoritmo para el almacenamiento de datos en tarjeta MicroSD, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

## 3.7 Implementación

### 3.7.1. Construcción del Canal Parshall

La Universidad Politécnica Salesiana Campus Cayambe, en conjunto con el grupo de investigación CIIS, realizó la construcción del canal Parshall con el diseño y medidas

detalladas en el apartado 3.2. El material usado es hormigón en toda su estructura como se muestra en la Figura 3.15, misma que se encuentra en funcionamiento.

Figura 3.15: Vista frontal de Canal Parshall construido a base de Hormigón



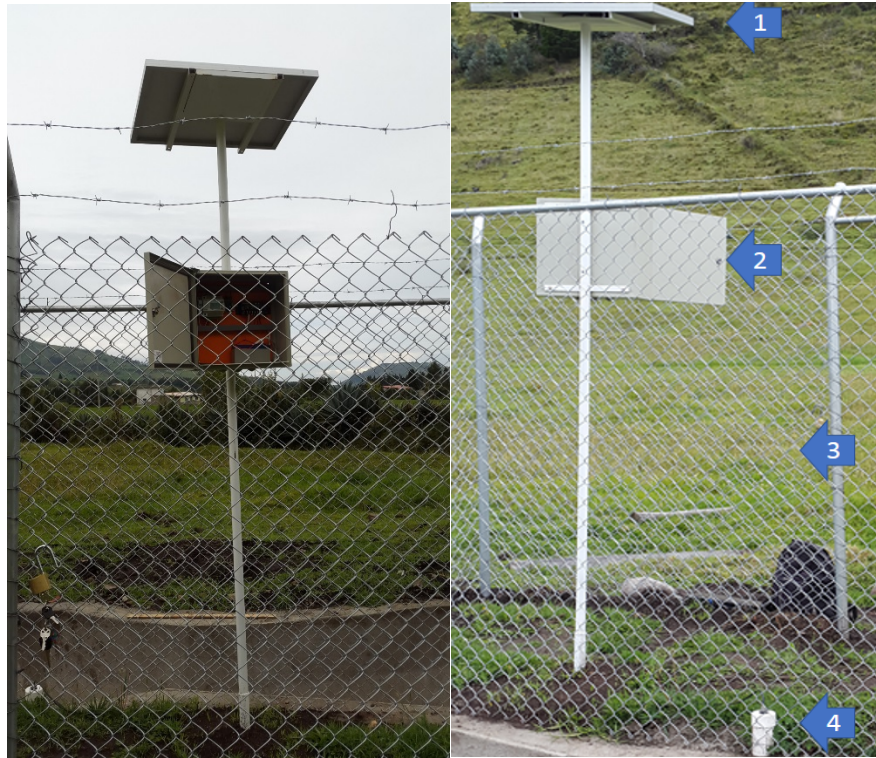
Vista frontal de Canal Parshall construido a base de Hormigón, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

### **3.7.2. Implementación de la estación**

En la implementación de la estructura se consideraron cuatro puntos importantes como se muestra en la Figura 3.16, donde el punto número uno es el panel solar de 50 W y 12 V, mismo que tiene una inclinación de 20 grados en dirección al sur para un mejor recepción de radiación solar, en el punto numero dos muestra el gabinete de control fijado a la estructura, mismo que tiene una protección contra lluvia, como punto número tres se tiene la malla de protección que fue implementada por el Centro de

Investigación de Cayambe (CIC) para la seguridad de los equipos, como punto número cuatro se tiene la ubicación del sensor ultrasónico acoplado a la tapa del tubo PVC de tres pulgadas logrando que se encuentre aislado de las impurezas del lugar.

Figura 3.16: Vista frontal y trasera de la estación



Vista frontal y trasera de la estación del transductor electrónico, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román



## CAPÍTULO 4

### 4.1 Pruebas del nivel de descarga de la batería.

En la Tabla 4.1 se puede observar los valores de descarga de la batería a distintas horas del día, considerando que el valor de voltaje máximo de la batería es de 13V.

Tabla 4.1: Valores de descarga de batería

Nº de medición	Hora [h]	Voltaje batería [V]	Corriente de carga [mA]	Tiempo Funcionamiento	Nivel de descarga [%]
1	7:00	12,98	141,2	0h	99,84615385
2	8:00	12,5	141,2	1h	96,15384615
3	9:00	12,4	141,2	1h	95,38461538
4	10:00	12,2	141,2	1h	93,84615385
5	11:00	12,2	141,2	1h	93,84615385
6	12:00	12,18	141,2	1h	93,69230769
7	13:00	12,15	141,2	1h	93,46153846
8	14:00	12,08	141,2	1h	92,92307692
9	15:00	12,05	141,2	1h	92,69230769
10	16:00	12,01	141,2	1h	92,38461538
11	17:00	12	141,2	1h	92,30769231
12	18:00	11,99	141,2	1h	92,23076923

Valores de descarga de la batería desde las 7:00 hasta las 18:00, Elaborado por Pablo Maldonado, Diego Román

También se muestra los valores de voltaje de la batería cada hora con un valor inicial de 13 V desde las 7:00 hasta las 18:00 horas, conectado al sistema con una carga de 141,2 mA, también podemos apreciar el porcentaje de descarga, el sistema puede funcionar 12 horas con una capacidad del 92,2 %, cumpliendo con los requerimientos del sistema.

### 4.2 Pruebas del nivel de carga de la batería.

Para hacer estas pruebas se empleó una batería descargada con una tensión inicial de 10 V, al conectarla al sistema el controlador de carga verifica si está conectado el panel solar e inmediatamente comienza a cargar la batería, los valores que se obtuvieron son los siguientes:



Tabla 4.2: Valores de carga de la batería

Nº de mediciones	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Horas [h]	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30
Voltaje batería [V]	10.01	10,8	11,5	12	12,2	12,6	12,7	12,8	12,9	13	13	13

Valores de carga de la batería a distintas horas, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

En la Tabla 4.2 se verifica cada media hora los valores de carga de la batería desde las 7:00 hasta las 12:30 horas, a las 12 del día la batería está totalmente cargada.

### 4.3 Medidas exactas del canal Parshall implementado

En la Tabla 4.3 se observa cambios (milímetros) al comparar las medidas reales con el diseño inicial aprobado por el Centro de investigación de Cayambe y con las cuales se desarrolló el proyecto.

### 4.4 Calibración del sensor

Una vez verificadas las medidas reales del canal se procede a reajustar las variables del sistema, para esto los datos que se emplearon son los siguientes:

Como se explica en el capítulo 3.4 existen constantes que varían debido a la construcción del aforador. Considerando esto, se realiza un promedio de medida en la garganta del canal Parshall (W) como se muestra en la Tabla 4.4

Tabla 4.3: Medidas de la garganta

Medidas de la Garganta																				Promedio
Altura [cm]	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	
W [cm]	99,4	99,2	99	99	99,2	99,2	99	99	99	99	99	98,8	98,6	98,6	98,6	98,4	98,4	98,4	98,4	98,6

Medidas y promedio de la garganta, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

W=98,6cm

Siendo el coeficiente de flujo libre (C):

$$C = K \times W^{1,025}$$

Ec. (4.1)

Reemplazando el valor de K y de W se obtiene:

$$C = 2.13 \times 0.986^{1.025} = 2.086$$

Por ende, la nueva ecuación del sistema es:

$$Q = C(h_a)^n = 2.086 \times h_a^{1.562}$$

Este nuevo valor del coeficiente de flujo libre es reemplazado en la fórmula para encontrar el caudal en función a la profundidad del flujo aguas arriba.

#### 4.5 Método de flotador para comparar los valores obtenidos con el sensor

En el método de flotador se utiliza un cronómetro, un objeto flotante, una cinta métrica o flexómetro, una regla o tabla graduada.

El método consiste en poner un objeto que flote sobre el agua desde un punto de partida marcado y conocer mediante un cronómetro el tiempo que demora en llegar el objeto hasta un punto de finalización marcado, tal como se observa en la Figura 4.1

Figura 4.1: Método de flotador



Características del método de flotador, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

Seleccionar un tramo en donde no existan obstáculos como piedras grandes, troncos de árboles o cualquier obstáculo que impida el libre acceso del fluido. En el tramo seleccionado se ubican dos puntos. A (inicio) y B (final) y medir dicha distancia.

Una persona se ubica en el punto A con el flotador y otra en el punto B con el cronómetro. Se medirá el tiempo recorrido del flotador desde el punto A al punto B.

La fórmula para encontrar la velocidad es la siguiente:

$$Velocidad = \frac{Distancia}{Tiempo} \quad \text{Ec. (4.1)}$$

Ubicar la sección del área transversal del río, para el cálculo se debe tomar la altura promedio, esto consiste en dividir a la acequia en por lo menos tres partes y medir la profundidad en cada punto para luego calcular el promedio.

Una vez se ha determinado el valor promedio de la profundidad, se procede a realizar la medición del ancho. El área de la sección transversal (AT) de la acequia se calcula:

$$AT = Ancho \times Profundidad \text{ promedio} \quad \text{Ec. (4.2)}$$

Para el cálculo del caudal (Q) se ocupa la ecuación 4.3:

$$Q = Velocidad \left( \frac{m}{s} \right) * Area(m^2) \quad \text{Ec. (4.3)}$$

A continuación, se muestra los valores obtenidos al utilizar el método de flotador.

La distancia del aforador es de 3 metros, por lo tanto, es solo necesario mostrar las distintas mediciones de tiempo calculadas.

**Distancia:** 3 metros

Tabla 4.4: Tiempos tomados del objeto flotando del punto A al punto B

T1= 5.64 (s)	T4= 6.14 (s)	T7= 6.55 (s)
T2= 6.72 (s)	T5= 7.60 (s)	T8= 4.51 (s)
T3= 6.40 (s)	T6= 4.89 (s)	T9= 4.54 (s)

Tiempos tomados del objeto flotando del punto A al punto B, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

El promedio de este tiempo es de: 5.753 segundos, utilizando la ecuación 4.1 para calcular la velocidad, obteniendo el siguiente resultado.

$$Velocidad = 0.5217 \text{ m/s}$$

Se calcula la altura promedio en tres secciones del aforador como se muestra a continuación:

Tabla 4.5: Medidas de la altura del aforador

<b>ALTURA 1</b>	<b>ALTURA 2</b>	<b>ALTURA 3</b>
10.6 cm	10.6 cm	10.6 cm
11.6 cm	10.6 cm	11.8 cm
11.2 cm	12.0 cm	11.8 cm

Medidas de la altura del aforador en tres secciones distintas, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

Siendo el promedio de la altura: 11.9 cm, ancho de la garganta: 1.59 m. El área de la sección transversal se calcula utilizando la ecuación 4.2

$$AT = 0.1779 \text{ m}^2$$

Con los valores obtenidos, se utiliza la ecuación 4.3 para encontrar el caudal instantáneo.

$$Q = 0.09281 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para un mejor entendimiento del usuario se transforma este valor a litros por segundo, se conoce que  $1 \text{ m}^3$  equivale a 1000 litros por lo que se obtiene:

$$Q = 92.81 \text{ L/s}$$

Una vez obtenido el valor de caudal con un método tradicional como el flotador se procede a compararlo con un método más avanzado como el Caudalímetro.

#### **4.5.1. Método de Caudalímetro Global Water FP111**

Este método consiste en el uso de un medidor de velocidad o molinete y tan solo una variable que es la distancia.

Figura 4.2: Medidor de velocidad (Molinete)



Medidor de velocidad Caudalímetro Global Water FP111, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

Este método se basa en el cálculo básico del área como se muestra en la ecuación 4.4

$$Area = Base \times Altura \quad \text{Ec. (4.4)}$$

Al obtener el área se multiplica por la velocidad dada por el molinete dando como resultado como el valor del caudal.

$$Q = Area \times Velocidad \quad \text{Ec. (4.5)}$$

A continuación, se realiza la comparación del método de Caudalímetro con el método de flotador. Conociendo ancho de la garganta: 1.59 m y largo del canal: 3 m

Se obtiene el valor promedio de la altura en tres secciones distintas del aforador como se muestra en la Tabla 4.5

Tabla 4.6: Valor promedio de las alturas

h1= 8.2 cm	h4= 8.6 cm	h7= 8 cm
h2= 8.6 cm	h5=9.6 cm	h8= 9.2 cm
h3= 8.2 cm	h6= 9.2 cm	h9=9.2 cm

Valor promedio de la altura en tres secciones diferentes del aforador, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

Altura: 8.75 cm

Hacemos uso de la ecuación 4.4

$$\text{Área} = 0.131925 \text{ m}^2$$

Posterior a esto, se utiliza el molinete para realizar la medición de velocidad en tres secciones distintas del aforador.

Tabla 4.7: Valor promedio de la velocidad

V1= 0.3 m/s	V4= 0.3 m/s	V7= 0.3 m/s
V2= 0.6 m/s	V5= 0.5 m/s	V8= 0.5 m/s
V3= 0.2 m/s	V6= 0.2 m/s	V9= 0.2 m/s

Valor promedio de la velocidad en tres secciones diferentes del aforador, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

El valor promedio de la velocidad es 0.34 m/s

Se utiliza la ecuación 4.5 para encontrar el valor del caudal

$$Q = 47.3025 \text{ L/s}$$

#### 4.5.2. Transductor electrónico

Se debe considerar que el método de Caudalímetro utiliza un instrumento conocido como medidor de velocidad el cual dispone de una hélice o sistema de alabes (velocidad angular) que es proporcional a la velocidad de la corriente. Este sistema está formado por un circuito eléctrico denominado cuentarrevoluciones permitiendo

que los datos sean ingresados y mostrados al operador de forma clara, por esta razón se realiza la comparación del método de caudalímetro con los valores medidos por el transductor electrónico. La Figura 4.5 muestra que el dispositivo mide un valor de Caudal (Q) igual a 48.21 (l/s)

Figura 4.3: Valor medido por el transductor electrónico



Valor del caudal medido por el transductor electrónico, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

El Industruino posee una base de datos en donde se encuentran almacenadas todas las mediciones realizadas por el sensor cada 30 minutos, como se muestra en la Tabla 4.6

Tabla 4.8: Mediciones obtenidas por el aforador. con fecha 17 de abril, 2018

CAUDAL(M^3/S): 0.0871009827	FECHA:Mar 17 Abr 2018	0:09:58
CAUDAL(M^3/S): 0.0867803395	FECHA:Mar 17 Abr 2018	0:39:43
CAUDAL(M^3/S): 0.0855282918	FECHA:Mar 17 Abr 2018	1:09:28
CAUDAL(M^3/S): 0.0846858472	FECHA:Mar 17 Abr 2018	1:39:13
CAUDAL(M^3/S): 0.0831581205	FECHA:Mar 17 Abr 2018	2:08:58
CAUDAL(M^3/S): 0.0847387239	FECHA:Mar 17 Abr 2018	2:38:44
CAUDAL(M^3/S): 0.0856577903	FECHA:Mar 17 Abr 2018	3:08:30
CAUDAL(M^3/S): 0.0825723559	FECHA:Mar 17 Abr 2018	3:38:15
CAUDAL(M^3/S): 0.0799994692	FECHA:Mar 17 Abr 2018	4:08:01
CAUDAL(M^3/S): 0.0770797804	FECHA:Mar 17 Abr 2018	4:37:46
CAUDAL(M^3/S): 0.0758627206	FECHA:Mar 17 Abr 2018	5:07:31
CAUDAL(M^3/S): 0.0775877014	FECHA:Mar 17 Abr 2018	5:37:17
CAUDAL(M^3/S): 0.0773474351	FECHA:Mar 17 Abr 2018	6:07:02
CAUDAL(M^3/S): 0.0788099021	FECHA:Mar 17 Abr 2018	6:36:48
CAUDAL(M^3/S): 0.0784572586	FECHA:Mar 17 Abr 2018	7:06:33
CAUDAL(M^3/S): 0.0762696788	FECHA:Mar 17 Abr 2018	7:36:18
CAUDAL(M^3/S): 0.0723203570	FECHA:Mar 17 Abr 2018	8:06:02
CAUDAL(M^3/S): 0.0616861060	FECHA:Mar 17 Abr 2018	8:35:46
CAUDAL(M^3/S): 0.0501205325	FECHA:Mar 17 Abr 2018	9:05:31
CAUDAL(M^3/S): 0.0501697063	FECHA:Mar 17 Abr 2018	9:35:15
CAUDAL(M^3/S): 0.0446025766	FECHA:Mar 17 Abr 2018	10:04:59
CAUDAL(M^3/S): 0.045428359	FECHA:Mar 17 Abr 2018	10:34:43
CAUDAL(M^3/S): 0.0464608456	FECHA:Mar 17 Abr 2018	11:04:27
CAUDAL(M^3/S): 0.0482119441	FECHA:Mar 17 Abr 2018	11:34:12
CAUDAL(M^3/S): 0.0497112547	FECHA:Mar 17 Abr 2018	12:04:26

Mediciones obtenidas por el aforador. con fecha 17 de abril, 2018, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

#### 4.5.3. Cálculo de errores

De cada uno de los métodos se toma el valor del caudal en metros cúbicos y se lo presenta en la Tabla 4.8, en donde se puede observar que la desviación estándar en el transductor electrónico es menor a los métodos de Caudalímetro y Flotador.

Tabla 4.9: Valores de caudal en metros cúbicos por tres métodos distintos

Hora	Método		
	Flotador	Caudalímetro	Transductor
8:05	0,0861897	0,0716861	0,072320357
8:35	0,0781578	0,0607953	0,061686106
9:05	0,0797815	0,0489153	0,050120533
9:35	0,0601579	0,0497292	0,050169706
10:05	0,0742635	0,0451573	0,044602577
10:35	0,0837813	0,0447815	0,045428359
11:05	0,0601932	0,0474564	0,046460846
11:35	0,0928134	0,0473025	0,048211944
12:05	0,0101668	0,0489416	0,049711255
<b>Promedio</b>	0,069500567	0,051640578	0,052079076
<b>Varianza</b>	0,000547077	6,99337E-05	7,35269E-05
<b>Desviación Estándar</b>	0,023389679	0,008362635	0,008574782

Valores de caudal en metros cúbicos por tres métodos distintos en el canal Parshall, Elaborado por: Pablo Maldonado, Diego Román

El Industruino permite guardar un valor de hasta nueve decimales acercándose a la realidad, el Industruino almacena valores cada 30 segundos con uno total de 300 muestras y de 1800 muestras cada 30 minutos. Mientras que al hacer uso del método del Caudalímetro la velocidad obtenida por el dispositivo tiende a variar, siendo elegidos exclusivamente por el criterio del observador.

A continuación, se muestra el cálculo del error entre el método de caudalímetro y del flotador utilizando la ecuación 4.6: y la Tabla 4.10

$$Error = \frac{V_{medido} - V_{real}}{V_{medido}} \times 100\% \quad \text{Ec. 4.6}$$

Donde el valor medido es la desviación estándar del método de flotador y el valor real es el método del caudalímetro.



$$Error = 63.39\%$$

El error del método del flotador es inexacto considerando que la forma de obtener los datos es manual, por ello se realiza el cálculo del error con un método que se acerque a la realidad como es el caudalímetro, mismo que utiliza un medidor de velocidad Global Water FP111, obteniendo el siguiente resultado

$$Error = 2.53\%$$

Considerando que el valor medido es la desviación estándar del caudalímetro y el valor real el del transductor electrónico.

El valor mostrado entre el caudalímetro y el transductor se encuentra dentro del rango de error del 1% al 3% requerido por el Centro de Investigación de Cayambe (CIC).

## CONCLUSIONES

El traductor se encuentra en funcionamiento en la acequia Pumamaqui de la parroquia Olmedo en la comunidad de Pesillo, desde el 12 de marzo del 2018 ininterrumpidamente esto se lo puede verificar con los datos obtenidos y validados por el encargado técnico.

El canal Parshall es la mejor opción para realizar una medición debido a que en los pozos tranquilizantes donde se ubica el sensor el fluido se estabiliza, logrando así una exactitud y precisión alta.

El uso del sensor ultrasónico para la medición de nivel en el pozo tranquilizante del canal Parshall resulto ser la mejor opción después de haber medido sobre la garganta del canal, debido a los problemas causados sobre todo con las condiciones ambientales del sector.

El sistema cuenta con un módulo Industruino que registra los datos cada 100 ms, se almacena el promedio de estos valores cada 30 minutos, tiempo sugerido por el centro de investigación de Cayambe los cuales realizan un estudio histórico del comportamiento de esta variable.

los datos obtenidos de la estación fueron analizados y posteriormente validados, realizando un cuadro comparativo con dos métodos tradicionales para medir caudales, flotador y caudalímetro en el que se puede observar que el error de la desviación estándar del flotador y el caudalímetro es del 63,39%, lo cual indica una medición inexacta, mientras que el error de la desviación estándar entre el método del caudalímetro y el transductor electrónico es del 2.53% cumpliendo de esta forma con los requerimientos del Centro de Investigación de Cayambe.

El transductor cuenta con un panel solar que permite cargar una batería de siete amperios obteniendo una autonomía de 20 horas de funcionamiento constante según los cálculos realizados, lo que garantiza la recolección de datos

La construcción del canal Parshall evita la adquisición de un sensor de velocidad además del sensor de nivel implementado, se obtiene el valor de caudal utilizando geometría básica lo que ahorra costes del sistema.

Diferencia mínima en la construcción del canal Parshall con el diseño realizado hace que los valores obtenidos por el transductor no sean reales lo que ocasiona que los errores en los cálculos aumenten considerablemente.

## **RECOMENDACIONES**

Seguir el manual de usuario y de mantenimiento, para asegurar que el transductor funcione correctamente toda su vida útil.

Este tipo de transductor se implemente en lugares del canal de riego para poder realizar un estudio completo del comportamiento del fluido.

La obra civil de la construcción del canal se verifique que cumpla con las medidas del diseño establecido.

los tubos PVC que se utilizan para la construcción de los pozos tranquilizantes deben estar a 15 cm sobre la construcción.

## REFERENCIAS

- Canto, C. E. (12 de Septiembre de 2012). *Sensores Ultrasónicos*. Obtenido de <https://www.ahomee.com.mx/SENSORES%20ULTRASÓNICOS.PDF>
- Dussaubat, S., & Vargas, X. (s.f.). Modernización e Integración Transversal de la Enseñanza de. *Modernización e Integración Transversal de la Enseñanza de*. Universidad de Chile, Chile.
- García Cobo, J. (23 de Septiembre de 2015). *Hardware libre*. Obtenido de <https://www.hwlibre.com/industruino-una-placa-arduino-para-la-industria/#comment-820>
- García, A. P. (2011). *Connotaciones Simbólicas y Valoraciones de poder en la lucha por el agua. Estudio de caso: Comunidad campesina „La Chimba“-Cayambe*. Quito: Pontificia Universidad Católica Del Ecuador.
- Industruino. (4 de Octubre de 2015). *Industruino*. Obtenido de <http://industrino.es/productos/>
- KEYENCE. (08 de 08 de 2016). *KEYENCE*. Obtenido de FUNDAMENTOS DE SENSORES: <https://www.keyence.com.mx/index.jsp>
- López, F. (2002). *greco.dit.upm.es*. Obtenido de <http://www.dit.upm.es/~david/TAR/trabajos2002/08-802.11-Francisco-Lopez-Ortiz-res.pdf>
- Lux Monroy, M. A. (2010). Medidores de flujo en canales abiertos . En M. A. Lux Monroy, *Medidores de flujo en canales abiertos* (pág. 138).

MaxBotix. (2012). Hoja de datos de sensor HRXL-MaxSonar-WR Series. En M. Sonar.

Molina V., C. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Olmedo 2012-2025*. Quito: Gobierno Autonomo Descentralizado Parroquial de Olmedo.

Olivares, J. (2016). Canal Parshall, casi cien años midiendo caudales . En *Canal Parshall*.

Rodriguez Ruiz, P. (s.f.). Conceptos de canal abierto y cerrado. En P. Rodriguez Ruiz, *Medición de canales*.

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1- MANUAL DE USUARIO DEL TRANSDUCTOR PARA LA MEDICIÓN DE CAUDAL EN UN AFORADOR TIPO PARSHALL**

#### **Introducción**

El transductor para la medición de caudal es un dispositivo que permite realizar medidas de caudal en aforadores tipo Parshall.

- Características del dispositivo.
- Pantalla de cristal líquido (LCD).
- Batería recargable de ácido.
- Puerto mini-A USB para programar el equipo.
- Tarjeta de almacenamiento micro SD.
- Valores de salda del caudal en metros cúbicos sobre segundo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) y litros sobre segundo ( $\text{l/s}$ ).

#### **Información sobre seguridad**

Advertencia: leer antes de hacer cualquier modificación, para evitar posibles danos en el equipo.

- Para extraer la memoria micro SD asegure de apagar el equipo completamente.
- Si se extrae la memoria micro SD el sistema detecta este evento y muestra un mensaje indicando que coloque la memoria micro SD, apague y vuelva a encender el equipo, en el caso de seguir mostrándose este mensaje verifique si la memoria está bien instalada y repita el proceso.
- Si se requiere cambiar la batería asegúrese de instalar correctamente los conectores según los colores de los cables, rojo (termina positivo) y negro (terminal negativo).
- Si se desea hacer modificaciones en el software asegúrese de usar un cable USB mini-A.
- Si el equipo no enciende verifique si los fusibles están en buen estado y correctamente instalados.

- Verificar que no exista agua dentro del gabinete de control ya que puede dañar los elementos electrónicos.

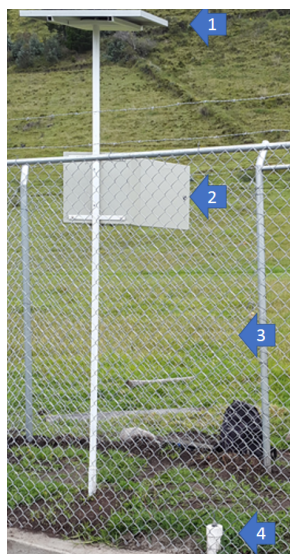
### Componentes electrónicos del transductor



Elemento	Descripción
1	Panel Solar 50Wp, 12V
2	Industruino
3	Sensor ultrasónico
4	Controlador SunSaver
5	Módulo micro SD
6	Base portafusibles
7	Batería 12V
8	Memoria micro SD



## Componentes para soporte del transductor



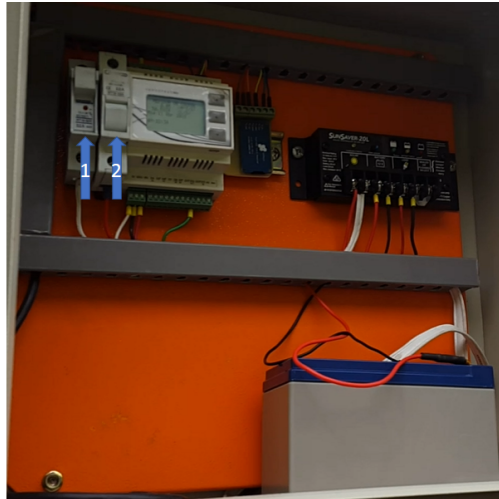
Elementos	Descripción
1	Estructura del Transductor
2	Gabinete de control
3	Malla de protección
4	Soporte del sensor ultrasónico

## Descargar los datos de caudal de la memoria micro SD

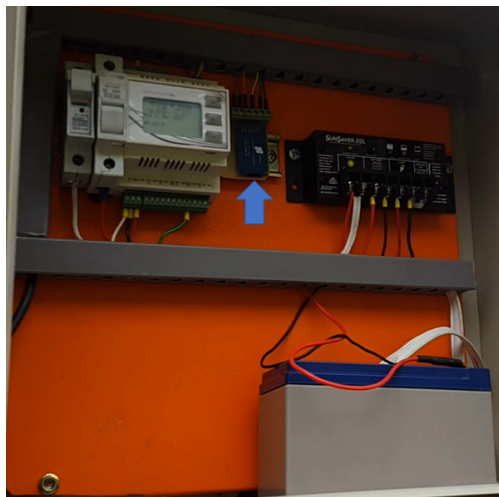
1. Abrir el gabinete de control.



2. Apagar el equipo bajando los dos breakers 1 y 2



3. Retire la memoria micro SD presionando hacia arriba.



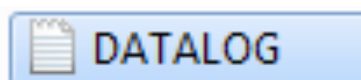
4. Coloque la memoria micro SD en un adaptador para poder conectar a un ordenador.



5. Conecte el adaptador al puerto del ordenador.



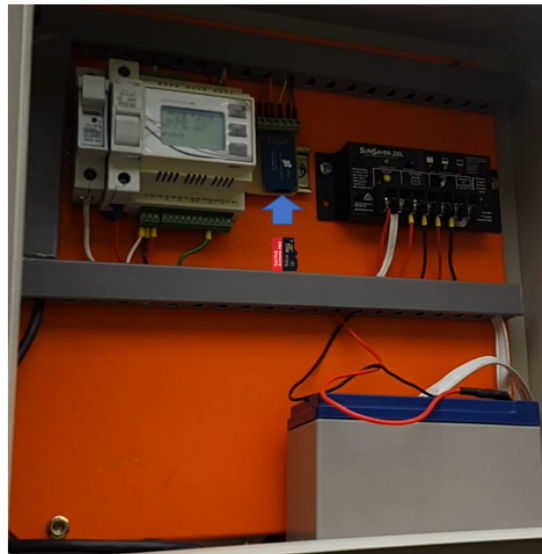
6. Abrir el archivo “DATALOG” y verificar los datos de caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), la fecha y hora.



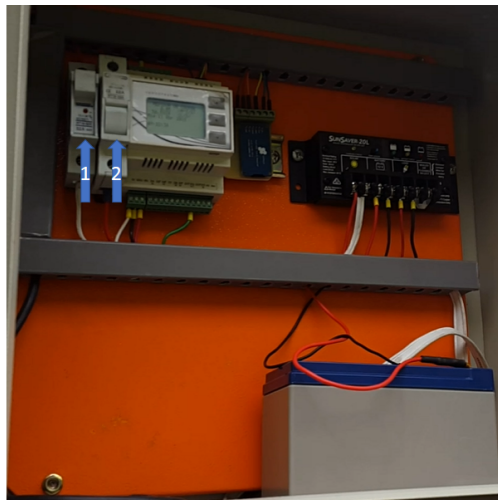
DATALOG: Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
Lun 12 Mar 2018	12:37:33			
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.0710809380	FECHA:	Lun 12 Mar 2018	13:07:18
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.0790426582	FECHA:	Lun 12 Mar 2018	13:37:04
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.0780530050	FECHA:	Lun 12 Mar 2018	14:06:49
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.0757795721	FECHA:	Lun 12 Mar 2018	14:36:34
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.0778087303	FECHA:	Lun 12 Mar 2018	15:06:20
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.0718652681	FECHA:	Lun 12 Mar 2018	15:36:05
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.0179731995	FECHA:	Lun 12 Mar 2018	16:13:57
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.1966517866	FECHA:	Lun 12 Mar 2018	16:43:43
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3224686682	FECHA:	Lun 12 Mar 2018	17:13:28
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3180194795	FECHA:	Lun 12 Mar 2018	17:43:13
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3218739629	FECHA:	Lun 12 Mar 2018	18:12:58
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3280138373	FECHA:	Lun 12 Mar 2018	18:42:44
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3356938958	FECHA:	Lun 12 Mar 2018	19:12:30
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3431044221	FECHA:	Lun 12 Mar 2018	19:42:16
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3450233638	FECHA:	Lun 12 Mar 2018	20:12:01
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3439331631	FECHA:	Lun 12 Mar 2018	20:41:47
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3394164443	FECHA:	Lun 12 Mar 2018	21:11:33
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3320756555	FECHA:	Lun 12 Mar 2018	21:41:19
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3298263848	FECHA:	Lun 12 Mar 2018	22:11:05
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3288911283	FECHA:	Lun 12 Mar 2018	22:40:51
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3282514513	FECHA:	Lun 12 Mar 2018	23:10:37
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3292236924	FECHA:	Lun 12 Mar 2018	23:40:23
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3283265829	FECHA:	Mar 13 Mar 2018	01:10:09
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3271484971	FECHA:	Mar 13 Mar 2018	01:39:55
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3264912367	FECHA:	Mar 13 Mar 2018	01:09:41
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3263223469	FECHA:	Mar 13 Mar 2018	01:39:27
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3273802996	FECHA:	Mar 13 Mar 2018	02:09:14
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3290886879	FECHA:	Mar 13 Mar 2018	02:39:00
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3289541602	FECHA:	Mar 13 Mar 2018	03:08:47
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3285649121	FECHA:	Mar 13 Mar 2018	03:38:34
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3282701075	FECHA:	Mar 13 Mar 2018	04:08:20
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3284520209	FECHA:	Mar 13 Mar 2018	04:38:08
CAUDAL (M <sup>3</sup> /S):	0.3287843764	FECHA:	Mar 13 Mar 2018	05:07:55

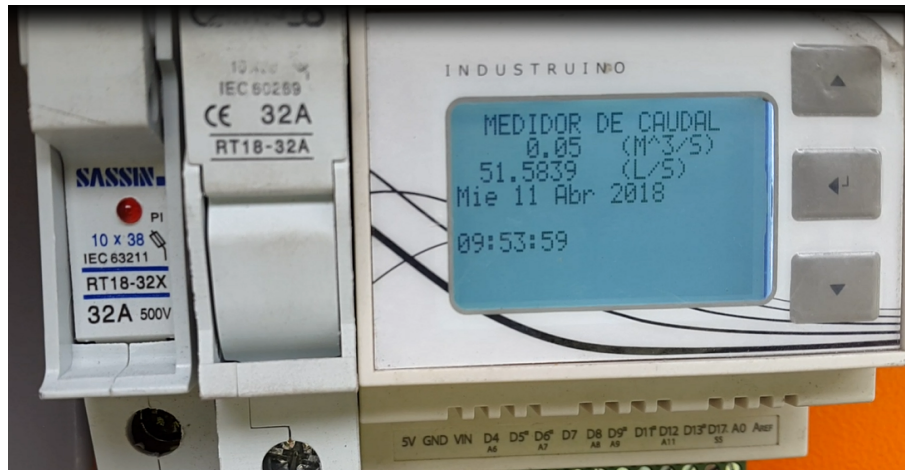
7. Una vez descargados los datos en el ordenador se procede a insertar la memoria micro SD en el módulo.



8. Subir los breakers y verificar que la LCD muestre el mensaje de inicio.



9. Se debe esperar unos segundos (30 segundos) hasta que el sistema haga un muestreo y calcule el caudal, trascurrido este tiempo tendremos la información requerida.

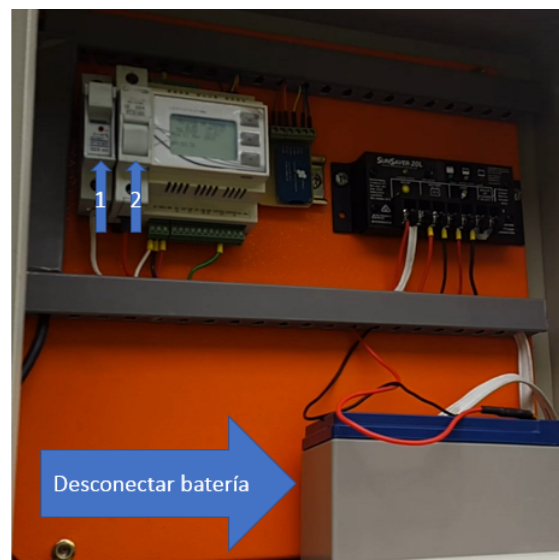


10. Si en la LCD aparece un mensaje de error por falta de memoria se debe apagar el equipo, colocar correctamente la memoria y repetir el proceso desde el punto 7.

### **Mantenimiento.**

Se recomienda que el mantenimiento se lo realice cuando se presenten inconsistencias en el las lecturas o cuando haya humedad o polvo en los equipos.

1. Para iniciar el mantenimiento se debe apagar el equipo bajando los dos breakers y desconectando la batería.



2. Se debe limpiar cuidadosamente el gabinete para que esté libre de polvo o cualquier objeto extraño.
3. Se recomienda limpiar el panel solar para mejorar su rendimiento.

4. Si se observa que algunos datos no se han guardado cada 30 minutos se debe verificar el voltaje de la batería (12V-13V), si el voltaje es menor a 12 voltios se debe verificar el voltaje del panel solar (13V-24V), si el panel solar entrega los valores de voltaje indicados y el problema persiste se debe reemplazar la batería.
5. Si se llega a tener problemas con la fecha y la hora se debe configurar estos datos desde el IDE de Arduino y volverlo a cargar, para esto se debe borrar las líneas subrayadas a continuación.

```
RTCInd.get(rtc, true);  
// the following 7 lines are used to set the time,  
// only upload this code once uncommented to set the time,  
// afterwards comment these lines out and upload again.  
/* BORRAR ESTA LINEA (/*) PARA CONFIGURAR LA HORA  
RTCInd.set(MCP7940_SEC, 0);  
RTCInd.set(MCP7940_MIN, 20);  
RTCInd.set(MCP7940_HR, 10);  
RTCInd.set(MCP7940_DOW, 3);  
RTCInd.set(MCP7940_DATE, 11);  
RTCInd.set(MCP7940_MTH, 4);  
RTCInd.set(MCP7940_YR, 18);  
*/ BORRAR ESTA LINEA (/*) PARA CONFIGURAR LA HORA  
// true for MCP7940N with back-up battery  
// false for MCP7940M or MCP7940N with VBAT connected to ground  
RTCInd.start(true);
```

6. Una vez borradas las líneas indicadas, se debe configurar la fecha y la hora actual cambiando los siguientes valores:

**RTCInd.set(MCP7940\_SEC, 0);** Este código le pertenece a los segundos, se debe cambiar el ultimo valor “0” con el número de segundos correspondiente.

**RTCInd.set(MCP7940\_MIN, 20);** Este código le pertenece a los minutos, se debe cambiar el ultimo valor “20” con el número de minutos correspondiente.

**RTCInd.set(MCP7940\_HR, 10);** Este código le pertenece a las horas, se debe cambiar el ultimo valor “10” con el número de horas correspondiente.

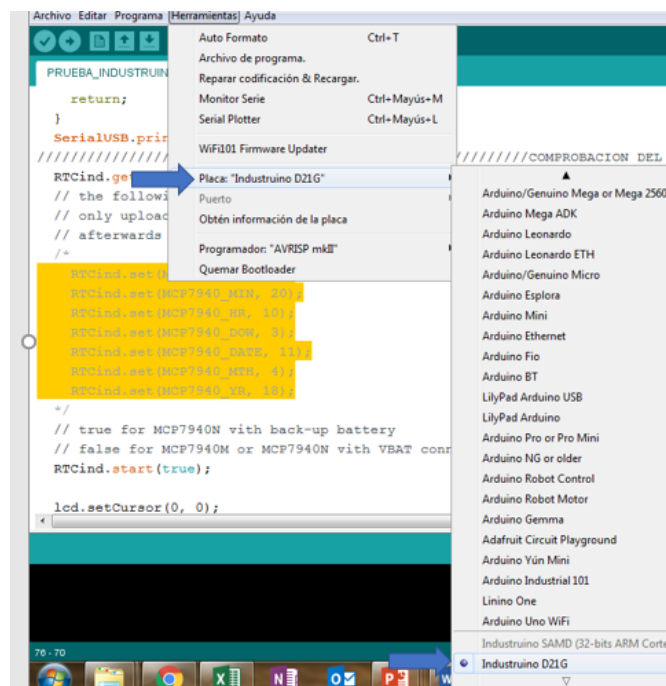
**RTCInd.set(MCP7940\_DOW, 3);** Este código le pertenece a los días, se debe cambiar el ultimo valor “3” con el número de días correspondiente, donde 1 equivale a lunes, 2 equivale a martes.

**RTCind.set(MCP7940\_DATE, 11);** Este código le pertenece a los días correspondientes a la fecha calendario, se debe cambiar el ultimo valor “11” con el número de día correspondiente al calendario.

**RTCind.set(MCP7940\_MTH, 4);** Este código le pertenece a los meses, se debe cambiar el ultimo valor “4” con el número de meses correspondiente.

**RTCind.set(MCP7940\_YR, 18);** Este código le pertenece a los años, se debe cambiar el ultimo valor “18” con el número del año correspondiente.

7. Una vez modificado estos valores se debe cargar el código en el Industruino, para esto se debe seleccionar la placa correspondiente, en este caso es “Industruino D21G”.



8. Se debe seleccionar el número del puerto COM y presionamos subir.



```

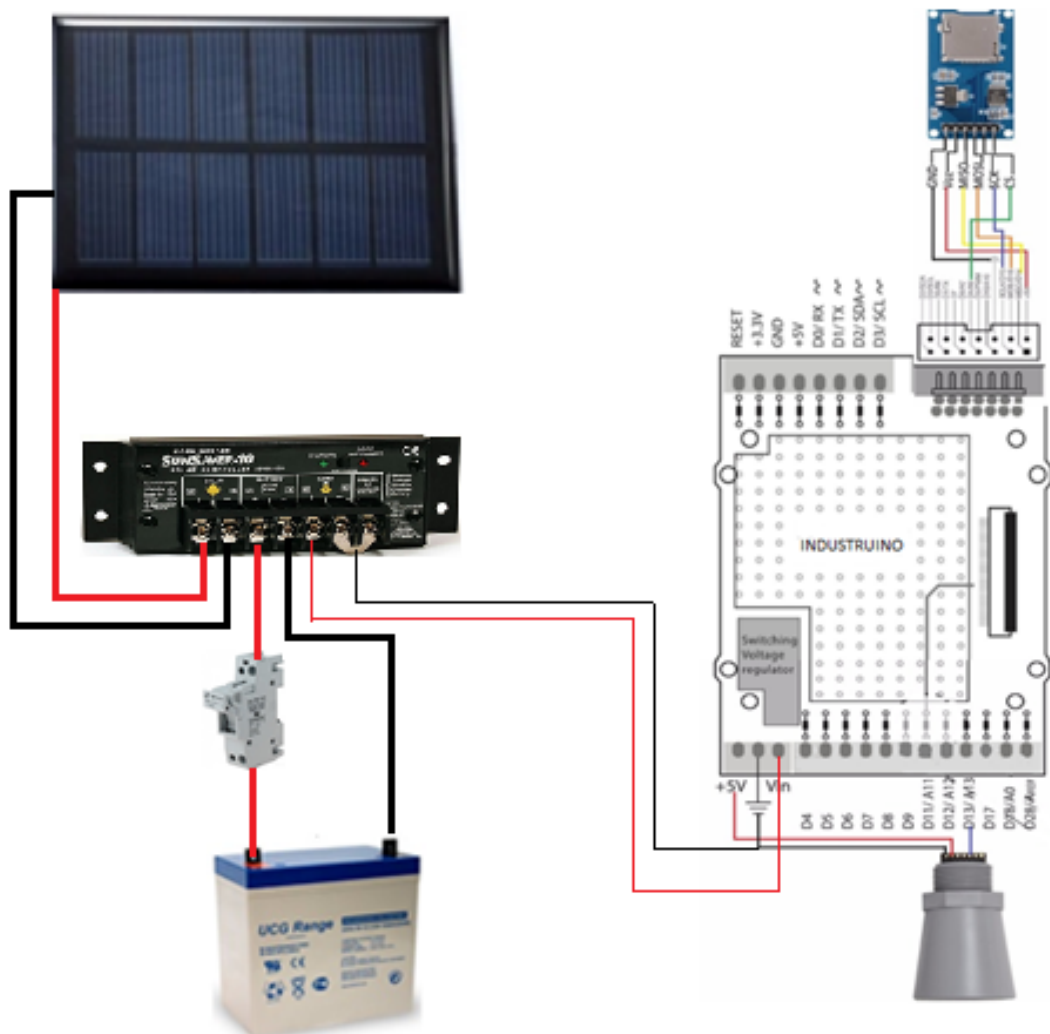
PRUEBA_INDSTRUINO_FINAL_01 Arduino 1.8.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Subir

PRUEBA_INDSTRUINO_FINAL_01 $

    return;
}
SerialUSB.println(F("Iniciado correctamente"));
////////////////////////////////////COMPROBACION
RTCInd.get(rtc, true);
// the following 7 lines are used to set the time,
// only upload this code once uncommented to set the time,
// afterwards comment these lines out and upload again.
/*
RTCInd.set(MCP7940_SEC, 0);
RTCInd.set(MCP7940_MIN, 30);
RTCInd.set(MCP7940_HR, 10);
RTCInd.set(MCP7940_DOW, 0);
RTCInd.set(MCP7940_DATE, 15);
RTCInd.set(MCP7940_MTH, 8);
RTCInd.set(MCP7940_YR, 1814);
*/
// true for MCP7940N with back-up battery
// false for MCP7940M or MCP7940N with VBAT connected to ground
RTCInd.start(true);

```

## Diagrama de conexiones.





## ANEXO 2- CÓDIGO FUENTE DE PROGRAMACIÓN

```
#include <Wire.h>
#include <MCP7940.h>
#include <Average.h> //LIBRERIA DE PROMEDIOS
#include <UC1701.h> //LIBRERIA DE LA LCD
#include <SD.h>      //LIBRERIA DEL MÓDULO MICRO SD

static UC1701 lcd;
Sd2Card card;

const int pWPin1 = 13; //this may be different depending on the
Arduino being used, and the other PW pins being used.
long sensor1, cm, inches;

const int chipSelect = 4;
File logFile;

int rtc[7];
int aux_lcd1=0,aux_lcd2=0,aux_lcd3=0,aux_lcd4=0;
int cont;
int num_cont=20;

float ecua=0;
float caudal=0;
float caudal_L=0;

////////////////////// NUMERO DE MUESTRAS DEL SENSOR
Average<float> ave(300);
Average<float> ave2(20);
////////////////////// NUMERO DE MUESTRAS DEL SENSOR

//*****
void setup()
{

    pinMode(26, OUTPUT);
    digitalWrite(26, HIGH); // full backlight

    lcd.begin();

    Wire.begin();
    SerialUSB.begin(9600);
    ////////////////////COMPROBACIÓN DEL MÓDULO MICRO SD
    SerialUSB.print(F("Iniciando SD ..."));
    if (!SD.begin(4))
    {

        lcd.clear();

        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("      !ERROR!");
        lcd.setCursor(0, 2);
        lcd.print(" COLOQUE LA MEMORIA");
        lcd.setCursor(0, 4);
        lcd.print("  APAGUE Y PRENDA ");
    }
}
```

```

        lcd.setCursor(0, 5);
        lcd.print("      EL EQUIPO");
        SerialUSB.println(F("Error al iniciar no hay micro SD"));
        return;
    }
    SerialUSB.println(F("Iniciado correctamente"));
    //////////////////////////////////COMPROBACIÓN DEL MÓDULO MICRO SD
    RTCind.get(rtc, true);
    // the following 7 lines are used to set the time,
    // only upload this code once uncommented to set the time,
    // afterwards comment these lines out and upload again.
    /*
        RTCind.set(MCP7940_SEC, 0);
        RTCind.set(MCP7940_MIN, 20);
        RTCind.set(MCP7940_HR, 10);
        RTCind.set(MCP7940_DOW, 3);
        RTCind.set(MCP7940_DATE, 11);
        RTCind.set(MCP7940_MTH, 4);
        RTCind.set(MCP7940_YR, 18);
    */
    // true for MCP7940N with back-up battery
    // false for MCP7940M or MCP7940N with VBAT connected to ground
    RTCind.start(true);

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("UNIVERSIDA SALESIANA");

    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("  MEDIDOR DE CAUDAL");
    lcd.setCursor(0, 4);
    lcd.print("  CALCULANDO CAUDAL");
    lcd.setCursor(0, 6);
    lcd.print("  ESPERE UNOS SEGUNDOS");

}
//*****
void loop()
{
    //----- IDENTIFICACIÓN SI ESTA CONECTADA LA MEMORIA
    while (SD.begin(4))
    {
        ////////////////////////////////// LIMPIAR LA LCD
        if(aux_lcd1==0){
            lcd.clear();
            aux_lcd1=1;
            aux_lcd2=0;
        }
        //////////////////////////////////

        //////////////////////////////////IMPRESIÓN DE ERROR
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("      !ERROR!");
        lcd.setCursor(0, 2);
        lcd.print(" COLOQUE LA MEMORIA");
        lcd.setCursor(0, 4);
        lcd.print("  APAGUE Y PRENDA ");
        lcd.setCursor(0, 5);
        lcd.print("      EL EQUIPO");
        SerialUSB.println(F("Error al iniciar  no hay micro SD"));
    }
}

```

```

////////////////////////////////////
}
//-----// }

//////////////////////////////////// PROMEDIO DE DATOS
PROMEDIO();
////////////////////////////////////
//////////////////////////////////// CREAR ARCHIVO EN SD
logFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
////////////////////////////////////
}
RTCind.get(rtc, true);

//=====// SI ENCUENTRA EL ARCHIVO, ENTRAR EN EL IF
if (logFile) {

//////////////////////////////////// LIMPIAR LA LCD
    if(aux_lcd2==0){
        lcd.clear();
        aux_lcd2=1;
        aux_lcd1=0;
    }
////////////////////////////////////

    lcd.setCursor(0, 3);
//////////////////////////////////// FECHA
    SEMANAS();
    MESES();
////////////////////////////////////
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(" MEDIDOR DE CAUDAL");

    lcd.setCursor(30, 1);

//////////////////////////////////// DELIMITACIÓN DE LOS RANGOS
    ecua=ave.mean()/100;

    if(ecua>1.18){
        ecua=1.18;
    }

    if(ecua<0.3){
        ecua=0.3;
    }

////////////////////////////////////

//////////////////////////////////// IMPRESIÓN DE CAUDAL EN M3/S
    caudal=2.9*pow((1.204-ecua),(1.562)); // ECUACIÓN DE CAUDAL
//SE HIZO LA COMPENSACIÓN DE 2.1 A 2.7 POR EL CAMBIO DE MEDIDA EN
//CUELLO CON UN VALOR DE 98.8
    caudal_L= caudal*1000; // REVISAR LOS CÁLCULOS EN CAPÍTULO 4
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(30, 1);

```

```

    lcd.print(caudal);

    lcd.setCursor(70, 1);
    lcd.print(" (M^3/S)");
    ////////////////////////////////////// }

    ////////////////////////////////////// IMPRESIÓN DE CAUDAL EN L/S
    lcd.setCursor(10, 2);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(10, 2);
    lcd.print(caudal_L);

    lcd.setCursor(70, 2);
    lcd.print(" (L/S)");
    //////////////////////////////////////

    //////////////////////////////////////IMPRESIÓN DE DATOS DE FORMA SERIAL
    SerialUSB.print("altura sensor");
    SerialUSB.print(": ");
    SerialUSB.print(ave.mean(), DEC);
    SerialUSB.println(" CM");
    SerialUSB.print("altura nivel de agua");
    SerialUSB.print(": ");
    SerialUSB.print(120.4-ave.mean(), DEC);
    SerialUSB.println(" CM");
    SerialUSB.print("caudal");
    SerialUSB.print(": ");
    SerialUSB.print(caudal, DEC);
    SerialUSB.println(" M^3/S");
    SerialUSB.print("caudal_L");
    SerialUSB.print(": ");
    SerialUSB.print(caudal_L, DEC);
    SerialUSB.println(" L/S");

    //////////////////////////////////////

    //////////////////////////////////////GUARDAR DATOS EN SD

    if(cont==num_cont){
    //  logFile.print("ALT:");
    //  logFile.print(" ");
    //
    //  logFile.print(ave.mean(),DEC); // ALTURA DEL POZO TRANQUILISANTE
    //  logFile.print(" ");
    logFile.print(" CAUDAL(M^3/S):");
    logFile.print(" ");
    logFile.print(ave2.mean(),DEC); // CAUDAL DEL CANAL
    logFile.print(" FECHA:");
    cont=0;
    }
    //////////////////////////////////////

    ////////////////////////////////////// CERRAR ARCHIVO
    logFile.close();
    ////////////////////////////////////// }
}
//=====//
//SI NO ENCUENTRA EL ARCHIVO, SALTAR ALERTA DE ERROR

```

```

else {
    SerialUSB.println("Error al abrir el archivo ");
    ////////////////////////////////////// LIMPIAR LA LCD
    if(aux_lcd1==0){
        lcd.clear();
        aux_lcd1=1;
        aux_lcd2=0;
    }
    //////////////////////////////////////
    //////////////////////////////////////IMPRESIÓN DE ERROR
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("      !ERROR!");
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print(" COLOQUE LA MEMORIA");
    lcd.setCursor(0, 4);
    lcd.print("  APAGUE Y PRENDA ");
    lcd.setCursor(0, 5);
    lcd.print("      EL EQUIPO");
    SerialUSB.println(F("Error al iniciar  no hay micro SD"));

    //////////////////////////////////////
    }
    //=====//
    //////////////////////////////////////
    GUARDAR DATOS EN SD
    SerialUSB.println();
    if(cont==num_cont){
        logFile.println(" ");
    }

    //////////////////////////////////////
}

////////////////////////////////////  FUNCIÓN SEMANAS

//*****
void SEMANAS()
{

    switch (rtc[3]) {
        case 1:
            SerialUSB.print("LUN ");
            lcd.print("Lun ");
            if(cont==num_cont){
                logFile.print("Lun ");
            }
            break;
        case 2:
            SerialUSB.print("MAR ");
            lcd.print("Mar ");
            if(cont==num_cont){
                logFile.print("Mar ");
            }
            break;
        case 3:
            SerialUSB.print("MIE ");
            lcd.print("Mie ");
            if(cont==num_cont){

```

```

        logFile.print("Mie ");
    }
    break;
case 4:
    SerialUSB.print("JUE ");
    lcd.print("Jue ");
    if(cont==num_cont){
        logFile.print("Jue ");
    }
    break;
case 5:
    SerialUSB.print("VIE ");
    lcd.print("Vie ");
    if(cont==num_cont){
        logFile.print("Vie ");
    }
    break;
case 6:
    SerialUSB.print("SAB ");
    lcd.print("Sab ");
    if(cont==num_cont){
        logFile.print("Sab ");
    }
    break;
case 7:
    SerialUSB.print("DOM ");
    lcd.print("Dom ");
    if(cont==num_cont){
        logFile.print("Dom ");
    }
    break;
}

    SerialUSB.print(rtc[4], DEC);
    lcd.print(rtc[4], DEC);
    if(cont==num_cont){
        logFile.print(rtc[4], DEC);
    }

    SerialUSB.print(" ");
    lcd.print(" ");
    if(cont==num_cont){
        logFile.print(" ");
    }

}

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////  FUNCIÓN MESES
void MESES()
{

    switch (rtc[5]) {
        case 1:
            SerialUSB.print("ENE");
            lcd.print("Ene ");
            if(cont==num_cont){
                logFile.print("Ene ");
            }
            break;
        case 2:

```

```

    SerialUSB.print("feb");
    lcd.print("Feb ");
    if(cont==num_cont){
        logFile.print("Feb ");
    }
    break;
case 3:
    SerialUSB.print("mar");
    lcd.print("Mar ");
    if(cont==num_cont){
        logFile.print("Mar ");
    }
    break;
case 4:
    SerialUSB.print("abr");
    lcd.print("Abr ");
    if(cont==num_cont){
        logFile.print("Abr ");
    }
    break;
case 5:
    SerialUSB.print("may");
    lcd.print("May ");
    if(cont==num_cont){
        logFile.print("May ");
    }
    break;
case 6:
    SerialUSB.print("jun");
    lcd.print("Jun ");
    if(cont==num_cont){
        logFile.print("Jun ");
    }
    break;
case 7:
    SerialUSB.print("jul");
    lcd.print("Jul ");
    if(cont==num_cont){
        logFile.print("Jul ");
    }
    break;
case 8:
    SerialUSB.print("ago");
    lcd.print("Ago ");
    if(cont==num_cont){
        logFile.print("Ago ");
    }
    break;
case 9:
    SerialUSB.print("sep");
    lcd.print("Sep ");
    if(cont==num_cont){
        logFile.print("Sep ");
    }
    break;
case 10:
    SerialUSB.print("oct");
    lcd.print("Oct ");
    if(cont==num_cont){
        logFile.print("Oct ");
    }

```

```

        }
        break;
    case 11:
        SerialUSB.print("nov");
        lcd.print("Nov ");
        if(cont==num_cont){
            logFile.print("Nov ");
        }
        break;
    case 12:
        SerialUSB.print("dic");
        lcd.print("Dic ");
        if(cont==num_cont){
            logFile.print("Dic ");
        }
        break;
}

SerialUSB.print(" ");
if(cont==num_cont){
    logFile.print(" ");
}

SerialUSB.println(rtc[6], DEC);
lcd.print(rtc[6], DEC);
if(cont==num_cont){
    logFile.print(rtc[6], DEC);
}

lcd.setCursor(0, 5);
if (rtc[2] < 10) {
    SerialUSB.print("0");
    lcd.print("0");
    // logFile.print("0"); // cero al final de la fecha
}
SerialUSB.print(rtc[2], DEC);
lcd.print(rtc[2], DEC);

if(cont==num_cont){
    logFile.print(" "); // separación de la hora con la fecha
    logFile.print(rtc[2], DEC);
}

SerialUSB.print(":");
lcd.print(":");
if(cont==num_cont){
    logFile.print(":");
}

if (rtc[1] < 10) {
    SerialUSB.print("0");
    lcd.print("0");
    if(cont==num_cont){
        logFile.print("0");
    }
}

SerialUSB.print(rtc[1], DEC);
lcd.print(rtc[1], DEC);

if(cont==num_cont){
    logFile.print(rtc[1], DEC);
}

```



```

    }

    SerialUSB.print(":");
    lcd.print(":");
    if(cont==num_cont){
        logFile.print(":");
    }
    if (rtc[0] < 10) {
        SerialUSB.print("0");
        lcd.print("0");
        if(cont==num_cont){
            logFile.print("0");
        }
    }
    SerialUSB.println(rtc[0], DEC);
    lcd.print(rtc[0], DEC);
    if(cont==num_cont){
        logFile.println(rtc[0], DEC); // revisar
    }

}

//////////////////////////////////////
//////////////////////////////////////  FUNCIÓN MESES
void PROMEDIO()//PROMEDIO DE LECTURAS DEL SENSOR
{
    cont++;
    /*
        Variables para almacenamiento del índice del
        valor minimo y maximo
    */
    int minat = 0;
    int maxat = 0;
    for (int i = 0; i < 300; i++) {
        float num = pulseIn(pwPin1, HIGH)/10-4.2; //analogRead(13)*1.58;
        // ecua=( (ave.mean()-348.26)/4.2859+14)/100; // ECUACIÓN EN
METROS
        ave.push(num);
        SerialUSB.print("D: ");
        SerialUSB.print(num);
        SerialUSB.print(" ");

        delay(161);
    }
    SerialUSB.print("----- ");
    SerialUSB.print(ave.mean(), DEC);
    float num2 = caudal;
    ave2.push(num2);
    SerialUSB.println(" ");

}

```